Norma Boliviana

NB 495

REPÚBLICA DE BOLIVIA

MINISTERIO DEL AGUA
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

Agua Potable – Definiciones y Terminología

IBNORCA

Primera Revisión
ICS 13.060.20
Agua Potable
Noviembre 2005

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

Norma Boliviana NB 495

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

Agua Potable – Definiciones y Terminologia

Primera Revisión

ICS 13.060.20 Agua Potable

Noviembre 2005

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

IBNORCA

Prefacio

La revisión y actualización de la Norma Boliviana **NB 495-05 "Agua Potable - Definiciones y Terminología (Primera revisión)"**, ha sido encomendada al Comité Técnico Normalizador N° 3.1 "Agua Potable", integrado por las siguientes instituciones y personas:

Reynaldo Villalba	Viceministerio de Servicios Básicos Director de Normas y Tecnología
Edwin Laruta	Viceministerio de Servicios Básicos
Enrique Torrico	Viceministerio de Servicios Básicos
Susana Jaramillo	Viceministerio de Servicios Básicos
Alcides Franco	SISAB
Carlos Gamez	SISAB
Jorge Flores	SISAB
Ronny Vega	ANESAPA
Rodolfo García	AISA
José Díaz	UMSA
Carlos España	UMSA
Gonzalo Dalence	IBNORCA

Fecha de aprobación por el Comité Técnico 2005-06-24

Fecha de aprobación por el Consejo Rector de Normalización 2005-10-27

Fecha de ratificación por la Directiva de IBNORCA 2005-11-11

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº Nº 104

La Paz 11 DIC 2007

CONSIDERANDO:

Que, el literal e) del Artículo 3º de la Ley Nº 3351, de 2 de febrero de 2006, Ley de Organización del Poder Ejecutivo, establece como atribución general de los Ministros: "Dictar normas relativas al ámbito de su competencia y resolver en última instancia, todo asunto administrativo que corresponda al Ministerio".

Que, el literal c) del Artículo 4º de la Ley Nº 3351 Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de 21 de febrero de 2006, establece que es atribución específica del Ministro del Agua, plantear y ejecutar, evaluar y fiscalizar las políticas y planes de servicio de agua potable y saneamiento básico, riego y manejo de cuencas, aguas internacionales y transfronterizas.

Que el Artículo 61 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, establece que en la estructura del Ministerio del Agua, es la siguiente: Viceministerio de Servicios Básicos, Viceministerio de Riego y Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos.

Los literales d) y e) del Artículo 63 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, dispone que son funciones del Viceministro de Servicios Básicos, entre otras, las siguientes: d) Promover normas técnicas, disposiciones reglamentarias e instructivos para el buen aprovechamiento y regulación de los servicios básicos y proponer por conducto regular proyectos de leyes y otras disposiciones para el sector; e) Difundir y vigilar la aplicación de políticas, planes, proyectos y normas técnicas para el establecimiento y operación de los servicios básicos, ejerciendo tuición sobre la Superintendencia de Saneamiento Básico.

Que, el objetivo fundamental de la Norma y sus Reglamentos Técnicos es estandarizar el diseño y optimizar costos de inversión para permitir el acceso a los servicios de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales a un mayor número de personas, priorizando sectores sociales de menores ingresos económicos.

Que, la Norma y sus Reglamentos Técnicos recogen en la presente versión experiencias de la práctica moderna de la ingeniería sanitaria y de la utilización de tecnologías alternativas en el país, transmitida y consensuada mediante un proceso de amplia participación y consulta con profesionales del país.

Que, es necesaria la edición, reimpresión y difusión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, para permitir su aplicación por parte de los profesionales del sector con carácter obligatorio en el ámbito urbano y rural del país.

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

Que, de acuerdo a los Informes VSB/UNI 016/2007 y VSB/UNI – 21/07, la Unidad de Normas e Institucionalidad, del Viceministerio de Servicios Básicos del Ministerio del Agua, recomienda la edición e impresión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, solicitando dar curso a la aprobación de la norma precitada así como a sus reglamentos.

POR TANTO:

El Ministro del Agua, en aplicación de sus atribuciones conferidas por ley.

RESUELVE:

Artículo 1º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "A".

Artículo 2º.- Aprobar los Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable, en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "B"

Artículo 3º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "C".

Artículo 4º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "D".

Artículo 5º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras", que forman parte de la presente Resolución como Anexo "E".

Artículo 5º.- Aprobar el Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, que forman parte integrante de la presente Resolución como Anexo "F".

Artículo 6º.- La Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, aprobadas mediante la presente Resolución Ministerial, deberán ser obligatoriamente aplicadas en todo el territorio nacional, por instituciones y profesionales del sector, en el diseño de sistemas de agua potable.

Artículo 7º.- Se autoriza al Viceministerio de Servicios Básicos para que en coordinación con la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua proceda a la edición, reimpresión, difusión y distribución en forma gratuita de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, a Municipios, Entidades e Instituciones públicas y privadas, bibliotecas universitarias, sociedades de profesionales, programas y proyectos del sector y otros priorizados por el Viceministerio de Servicios Básicos.

Artículo 8º.- El Viceministerio de Servicios Básicos y la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 9º.- Se abroga la Resolución Ministerial Nº 230/2004, de 07 de septiembre de 2004, emitida por el Ministerio de Servicios y Obras Publicas. Quedan abrogadas y derogadas todas las resoluciones contrarias a la presente Resolución Ministerial.

Regístrese, comuníquese, cúmplase y archívese.

Alcides Franco Torrico
VICEMINISTRO DE SERVICIOS BASICOS E.I.
MINISTERIO DEL AGUA

Walter Valda Rivera
MINISTRO DEL AGUA

Calle Capitán Castrillo Nº 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

PRESENTACION

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas a través del Viceministerio de Servicios Básicos en aplicación de las atribuciones y obligaciones establecidas por Ley, con el objetivo de disponer de un instrumento normativo, complementario a la NB 512, pone a disposición de profesionales e instituciones del sector la presente Norma: “Agua Potable – Definiciones y Terminologia”, en su primera revisión.

Esta Norma tiene por objeto presentar las definiciones y terminologia relacionados con las actividades relativas al control de la calidad del agua.

La elaboracion del presente documento fue posible gracias a la participacion de profecionales del sector, el Instituto Boliviano de Normalizacion y Calidad (IBNORCA) y otras instituciones que de manera desinterezada contribuyeron a que nuestro país cuente con este valioso instrumento técnico.

NORMA BOLIVIANA NB 495 – 04
“AGUA POTABLE – DEFINICIONES Y TERMINOLOGIA”

INDICE

	Página
OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	7
REFERENCIAS	7
DEFINICIONES	7
OTRAS DEFINICIONES TÉCNICAS	14
BIBLIOGRAFIA	15

Agua Potable - Definiciones y Terminología

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece las definiciones y términos empleados en las normas sobre agua potable, sistemas de abastecimiento de agua, muestreo y análisis de laboratorio.

2 REFERENCIAS

NB 512 Agua Potable - Requisitos
NB 496 Agua Potable - Toma de muestras

3 DEFINICIONES

3.1 Acidez

Capacidad del agua para neutralizar bases.

3.2 Agua (H_2O)

Compuesto químico formado por la combinación de dos átomos de hidrogeno y uno de oxigeno.

3.2.1 Agua para consumo humano

Agua que cumple con los requisitos de la norma NB 512. También se denomina agua potable.

3.2.2 Agua potable

Aquella que por sus características organolépticas, físico-químicas, radioactivas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en la norma NB 512 y el Reglamento Nacional para el Control de la Calidad de Agua para Consumo Humano.

3.3 Alcalinidad

Capacidad del agua para neutralizar ácidos.

3.4 Análisis bacteriológico

Aplicación de métodos analíticos de laboratorio que permiten determinar las características bacteriológicas del agua.

3.5 Análisis físico-químico

Aplicación de métodos analíticos de laboratorio que permiten determinar las características físico químicas del agua en forma cualitativa y cuantitativa, incluyéndose las organolépticas como parte de las características físicas.

3.6 Análisis organoléptico

Aplicación de métodos analíticos de laboratorio que permiten determinar las características organolépticas del agua en forma cualitativa y cuantitativa.

3.7 Análisis radiológico

Aplicación de métodos analíticos de laboratorio que permiten determinar las características radiológicas debida principalmente a la actividad de los radionucleidos en el agua.

3.8 Bitácora de campo

Es el registro detallado de solicitudes, permisos, órdenes y toda especificación que tiene carácter oficial y legal en el proceso de muestreo que estará en poder de la EPSA y accesible a la Autoridad competente.

3.9 Blanco de equipo

Envase lleno con el agua final del enjuague de la descontaminación de los equipos. Sirve para controlar la presencia de contaminación durante el análisis y verificar la calidad del análisis.

3.10 Blanco de campo

Envase con agua desionizada, llenado en el punto de muestreo, para investigar la presencia contaminación durante la colecta y envió de las muestras y verificar la calidad del análisis.

3.11 Características físicas

Son aquellas que miden las propiedades que influyen en la calidad del agua: color, turbiedad, sólidos totales y sólidos totales disueltos, resultantes de la presencia de un número de constituyentes físicos.

3.12 Características microbiológicas

Son aquellas debidas a la presencia de bacterias y otros microorganismos nocivos a la salud humana.

3.13 Características organolépticas

Son aquellas que se detectan sensorialmente (sabor, color y olor) y que influyen en la aceptabilidad del agua

3.14 Características químicas

Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, que en concentraciones por encima de lo establecido en la norma pueden causar efectos nocivos a la salud.

3.15 Características radiactivas

Son aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.

3.16 Cloro residual

Cantidad de cloro libre, no combinado, presente en el agua potable; se expresa en miligramos por litro (mg/l).

3.17 Coagulante

Sustancia insolubles en el agua, que neutraliza las cargas eléctricas de los coloides y permite la formación de partículas mayores, que pueden ser eliminadas por sedimentación.

3.18 Colimetría

Método que permite investigar la presencia y densidad del grupo coliforme, incluyendo Escherichia coli.

3.19 Color

Impresión visual producida por las materias en solución y/o suspensión contenidas en el agua.

3.20 Conductividad

Es una medida de la habilidad que tiene una solución para conducir la corriente eléctrica. La unidad de medición es el μSiemens/centímetro.

3.21 Conexión domiciliaria de agua

Conjunto de tuberías y accesorios que permiten la conducción del agua desde la red de distribución hasta el límite de propiedad del beneficiario.

3.22 Contaminación

Alteración de cualquiera de las siguientes características: Físicas, químicas, biológicas y/o radiológicas en el agua, que deterioran su calidad de modo tal que llegue a constituir un riesgo para la salud o a reducir su utilización.

3.23 Control de calidad

Es el control efectuado en el proceso de muestreo a objeto de que el mismo sea confiable y representativo.

3.24 Curie

Unidad de radiactividad, correspondiente a $3,7 \times 10^{10}$ desintegraciones por segundo de sustancia radioactiva. Sirve para expresar la intensidad con que desintegra una sustancia.

Ejemplo: Un pico Curie ($1\ pCi = 10^{12}\ Ci$), corresponde a 0,037 desintegraciones por segundo.

3.25 Dureza

Característica del agua que representa la concentración de iones de calcio, magnesio y otros metales, expresado bajo la forma de carbonato de calcio, en miligramos por litro (mg/l).

3.25.1 Dureza de carbonato

Se debe a la presencia en el agua de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio.

3.25.2 Dureza de no carbonato

Debido a sulfatos, cloruros y nitratos de calcio, magnesio, aluminio, hierro, zinc y otros.

3.25.3 Dureza total

Suma de las durezas de carbonatos y de no carbonatos.

3.26 Estación de bombeo

Conjunto de estructuras, instalaciones y equipos que permiten elevar el agua de un nivel inferior a otro superior, haciendo uso de equipos de bombeo.

3.27 Examen bacteriológico

Conjunto de métodos de laboratorio que permite la identificación, aislamiento y enumeración de las bacterias que contenga el agua; por contaminación con desechos de origen humano ó animal.

3.28 Floculación

La adición de sustancias químicas, para producir un "flóculo", que es un compuesto insoluble que adsorbe materia coloidal y permite su fácil sedimentación.

3.29 Floculante

Agente químico capaz de acelerar la unión y sedimentación de partículas en suspensión y coloidales. También se conoce con el nombre de coagulante.

3.30 Formato de custodia

Procedimiento que formaliza la custodia de muestras mantiene y documenta la posesión de una muestra.

3.31 Fuentes de abastecimiento de agua

Depósitos o cursos naturales de agua, superficiales o subterráneos.

3.32 Grupo coliforme

Enterobacterias Gran negativas no esporuladas, aeróbias y anaerobias facultativas, que fermentan a la lactosa con producción de ácido y gas, a las 24 h, 48 h y 72 h de incubación a 35°C $\pm$ 2°C.

3.33 Índice colimétrico; índice coliforme

Recuento expresado en NMP (número más probable) de bacterias coliformes por cada 100 ml.

3.34 Índice de Langelier

Es una medida del grado de saturación del carbonato de calcio en el agua, el cual se basa en el pH, alcalinidad y dureza. Si el Índice de Langelier es positivo, el carbonato de calcio puede precipitar de una solución y formar incrustaciones.

3.35 Insumos químicos

Productos químicos utilizados en el tratamiento y desinfección del agua.

3.36 Laboratorio acreditado

Centro o lugar donde se realizan los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, con procedimientos normalizados aceptados y que se encuentra reconocido mediante certificación de “Buenas Prácticas de Laboratorio”.

3.37 Medida temporal

Dictamen otorgado por autoridad competente y en coordinación con los sectores involucrados, por un período de tiempo (máximo 6 meses), sin que ello signifique peligro para la salud de los consumidores, previa constatación que el deterioro de la calidad del agua, es producto de una situación de fuerza mayor.

3.38 Método de los tubos múltiples

Método que aplica la técnica de tubos y diluciones múltiples en series de 3 y 5.

3.39 Método de la membrana filtrante

Método que determina el número de bacilos coliformes, por retención a través de una membrana de celulosa de 0,45 μm y adición de un medio de cultivo para el desarrollo, por cuantificación, de las bacterias típicas o atípicas.

3.40 Muestra de agua

La fracción significativa y representativa de una masa mayor de agua que conserva sus propiedades y características.

3.41 Muestra de control de calidad de laboratorio

Muestra adicional colectada para efectos de control de calidad.

3.42 Muestra dividida

Muestra adicional que se envía a un laboratorio diferente con el fin de probar procedimientos y desempeño del laboratorio de EPSA

3.43 Muestra duplicada

Aquella que permite verificar la precisión de la colecta en campo o en laboratorio, tomada en puntos de muestreo donde se presuma que existen niveles altos de un compuesto particular.

3.44 Muestra simple

Es aquella que representa las condiciones y características del agua potable en la red de distribución.

3.45 Muestreo

Acción que consiste en tomar muestras con el objeto de analizar sus propiedades y características.

3.46 Olor

Sensación olfativa que producen las materias extrañas contenidas en el agua.

3.47 Parámetro

Nombre del elemento o compuesto a medirse mediante un procedimiento analítico de laboratorio.

3.48 Pileta pública

Infraestructura civil y accesorios localizados en lugar público, que permiten la distribución del agua a los usuarios o consumidores con fines domésticos.

3.49 Plaguicidas

Término genérico que incluye a compuestos que forman parte de las siguientes familias de compuestos orgánicos: insecticidas, herbicidas; funguicidas; acaricidas; nematicidas; alguicidas, los productos derivados y sus metabolitos, productos de degradación y de reacción de los mismos.

3.50 Planta de tratamiento de agua

Conjunto de obras civiles, instalaciones y equipos convenientemente dispuestos para llevar a cabo procesos y operaciones unitarias que permitan obtener aguas de calidad aptas para consumo y uso humano. Se denomina también planta potabilizadora de agua.

3.51 Punto de muestreo

Lugar físico de donde se extrae una muestra representativa, para su posterior caracterización físico-química, bacteriológica y/o radiológica.

3.52 Red de distribución

Conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten la entrega del agua a los consumidores en forma constante con presión apropiada y en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades.

3.53 Riesgo en salud

Probabilidad de ocasionar daño a la salud de los consumidores, debido a una operación defectuosa o contaminación en el sistema de abastecimiento de agua.

3.54 Sabor

Sensación gustativa que producen las materias extrañas contenidas en el agua.

3.55 Sistema de agua potable

Conjunto de estructuras, equipos, accesorios e instalaciones que tienen por objeto transformar la calidad del agua y transportarla desde la fuente de abastecimiento hasta los puntos de consumo, en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión.

3.56 Sólidos en el agua

Cantidad de materia sólida presente en el agua. Expresada en miligramos por litro. Pueden distinguirse los siguientes tipos:

3.56.1 Sólidos totales

Cantidad de materia sólida resultante, después de evaporar el agua.

3.56.1.1 Sólidos en suspensión

Cantidad de materia sólida remanente después de una filtración y secado en un crisol a 105°C de temperatura, durante 2 h.

3.56.1.1.1 Sólidos en suspensión fijos

Cantidad de materia remanente de los sólidos en suspensión, después de una calcinación a 600 °C durante 20 min.

3.56.1.1.2 Sólidos en suspensión volátiles

Diferencia entre sólidos en suspensión y sólidos en suspensión fijos.

3.56.1.2 Sólidos disueltos

La diferencia entre sólidos totales y sólidos en suspensión.

3.56.1.2.1 Sólidos disueltos fijos

La diferencia entre sólidos disueltos y sólidos en suspensión volátiles.

3.56.1.2.2 Sólidos disueltos volátiles

Diferencia entre los sólidos disueltos y los sólidos disueltos fijos.

3.56.2 Sólidos sedimentables

Cantidad de materia depositada, por efecto de la gravedad, en el fondo de un recipiente.

3.57 Tanque de almacenamiento

Depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución, destinado a almacenar agua y/o mantener presiones adecuadas en la red de distribución.

3.58 Turbiedad

Propiedad óptica de una muestra de agua, que hace que los rayos luminosos se dispersen y absorban, en lugar de transmitir en línea recta.

3.59 Usuario (consumidor)

Toda persona natural o jurídica, pública o privada, que utiliza alguno de los servicios de agua potable o alcantarillado sanitario para sus actividades, con los propósitos mencionados en el Reglamento Nacional para el Control de la Calidad de Agua para Consumo Humano.

3.60 Valor máximo aceptable

Valor máximo de la concentración permitido para los parámetros definidos en la NB 512 y el Reglamento Nacional para el Control de la Calidad de Agua para Consumo Humano.

3.61 Vigilancia de la calidad del agua

Actividad de monitoreo, complementaria al control de la calidad del agua, que implica la observación por muestreo, de la seguridad de los sistemas de abastecimiento de agua, desde el punto de vista de la salud pública.

3.62 Zona de abastecimiento de agua

Comprende una de las partes de la red de distribución, con características y condiciones homogéneas de operación, funcionamiento, calidad, cantidad, continuidad y presión.

4 OTRAS DEFINICIONES TÉCNICAS:

4.1 ABS (Alquil - Benceno - Sulfonato)

Denominación química genérica del grupo funcional básico de los detergentes de uso más general. Su contenido en el agua se exprese en miligramos por litro (mg/l).

4.2 E.C.C (Extracto - Carbón - Cloroformo)

Método que se emplea en la determinación de insecticidas y desinfectantes. Su contenido se expresa en miligramos por litro (mg/l).

4.3 ICP (Plasma Inductivamente Acoplada)

Método moderno para la determinación analítica de metales y características principales del agua.

4.4 NMP (número más probable)

Cálculo probabilístico de la densidad de bacterias en una muestra, que se efectúa combinando los resulta dos positivos y negativos, obtenidos en la técnica de los tubos múltiples.

4.5 pH

Cologaritmo de la concentración de iones hidrogeno en solución. Indica el carácter ácido (pH < 7), neutro (pH = 7) o básico (pH > 7) de la solución.

5 BIBLIOGRAFIA

Normas Internacionales para el agua potable.
Edición 1964 - 1972, Ginebra.

Norma Boliviana NB 512 “Agua Potable – Requisitos”, 2004.

Norma Boliviana NB 496 “Toma de Muestras”, 2005.

Reglamento Nacional para el Control de la Calidad de Agua para Consumo Humano, 2005.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud.

Serie de Documentos Técnicos 3 (1976 - Lima - Perú)

AGRADECIMIENTO

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas, a través del Viceministerio de Servicios Básicos, expresa su agradecimiento al Programa de Saneamiento Básico para Pequeños Municipios 1050/SF-BO “PROAGUAS”, a todas las instituciones, organizaciones y profesionales que de manera desinteresada hicieron posible la elaboración de este documento.

IBNORCA creado por Decreto Supremo N 23489 de fecha 1993-04-29 y ratificado como parte componente del Sistema Boliviano de la Calidad (SNMAC) por Decreto Supremo N 24498 de fecha 1997-02-17, es la Organización Nacional de Normalización responsable del estudio y la elaboración de Normas Bolivianas.

Representa a Bolivia ante los organismos Subregionales, Regionales e Internacionales de Normalización, siendo actualmente miembro activo del Comité Andino de Normalización CAN, del Comité Mercosur de Normalización CMN, miembro pleno de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas COPANT , miembro de la International Electrotechnical Commission IEC y miembro correspondiente de la International Organization for Standardization ISO.

Revisión

Esta norma está sujeta a ser revisada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

Características de aplicación de Normas Bolivianas

Como las normas técnicas se constituyen en instrumentos de ordenamiento tecnológico, orientadas a aplicar criterios de calidad, su utilización es un compromiso conciencial y de responsabilidad del sector productivo y de exigencia del sector consumidor.

Información sobre Normas Técnicas

IBNORCA, cuenta con un Centro de Información y Documentación que pone a disposición de los interesados Normas Internacionales, Regionales, Nacionales y de otros países.

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

Av. Busch Nº 1196 - Casilla 5034 - Teléfonos: (591-2) 2223777 - 2223666 - Fax (591-2) 2223410
info@ibnorca.org - La Paz - Bolivia

Formato Normalizado A4 (210 mm. x 297 mm.) Conforme a Norma Boliviana NB 723001 (NB 029)

Norma Boliviana **NB 496**

REPÚBLICA DE BOLIVIA

MINISTERIO DEL AGUA
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

Agua Potable – Toma de Muestras

Primera Revisión
ICS 13.060.20
Agua Potable
Noviembre 2005

IBNORCA

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

Norma Boliviana NB 496

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

Agua Potable - Toma de Muestras

Primera Revisión

ICS 13.060.20 Agua Potable

Noviembre 2005

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

IBNORCA

Prefacio

La revisión y actualización de la Norma Boliviana **NB 496-05 “Agua Potable - Toma de Muestras (Primera revisión)”**, ha sido encomendada al Comité Técnico Normalizador N° 3.1 "Agua Potable", integrado por las siguientes instituciones y personas:

Reynaldo Villalba	Viceministerio de Servicios Básicos Director de Normas y Tecnología
Edwin Laruta	Viceministerio de Servicios Básicos
Enrique Torrico	Viceministerio de Servicios Básicos
Susana Jaramillo	Viceministerio de Servicios Básicos
Alcides Franco	SISAB
Carlos Gámez	SISAB
Jorge Flores	SISAB
Ronny Vega	ANESAPA
Evel Álvarez	AISA
Rodolfo García	AISA
José Díaz	UMSA
Carlos España	UMSA
Gonzalo Dalence	IBNORCA

Fecha de aprobación por el Comité Técnico 2005-06-24

Fecha de aprobación por el Consejo Rector de Normalización 2005-10-27

Fecha de ratificación por la Directiva de IBNORCA 2005-11-11

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº Nº 104

La Paz 11 DIC 2007

CONSIDERANDO:

Que, el literal e) del Artículo 3º de la Ley Nº 3351, de 2 de febrero de 2006, Ley de Organización del Poder Ejecutivo, establece como atribución general de los Ministros: "Dictar normas relativas al ámbito de su competencia y resolver en última instancia, todo asunto administrativo que corresponda al Ministerio".

Que, el literal c) del Artículo 4º de la Ley Nº 3351 Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de 21 de febrero de 2006, establece que es atribución específica del Ministro del Agua, plantear y ejecutar, evaluar y fiscalizar las políticas y planes de servicio de agua potable y saneamiento básico, riego y manejo de cuencas, aguas internacionales y transfronterizas.

Que el Artículo 61 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, establece que en la estructura del Ministerio del Agua, es la siguiente: Viceministerio de Servicios Básicos, Viceministerio de Riego y Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos.

Los literales d) y e) del Artículo 63 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, dispone que son funciones del Viceministro de Servicios Básicos, entre otras, las siguientes: d) Promover normas técnicas, disposiciones reglamentarias e instructivos para el buen aprovechamiento y regulación de los servicios básicos y proponer por conducto regular proyectos de leyes y otras disposiciones para el sector; e) Difundir y vigilar la aplicación de políticas, planes, proyectos y normas técnicas para el establecimiento y operación de los servicios básicos, ejerciendo tuición sobre la Superintendencia de Saneamiento Básico.

Que, el objetivo fundamental de la Norma y sus Reglamentos Técnicos es estandarizar el diseño y optimizar costos de inversión para permitir el acceso a los servicios de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales a un mayor número de personas, priorizando sectores sociales de menores ingresos económicos.

Que, la Norma y sus Reglamentos Técnicos recogen en la presente versión experiencias de la práctica moderna de la ingeniería sanitaria y de la utilización de tecnologías alternativas en el país, transmitida y consensuada mediante un proceso de amplia participación y consulta con profesionales del país.

Que, es necesaria la edición, reimpresión y difusión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, para permitir su aplicación por parte de los profesionales del sector con carácter obligatorio en el ámbito urbano y rural del país.

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

Que, de acuerdo a los Informes VSB/UNI 016/2007 y VSB/UNI – 21/07, la Unidad de Normas e Institucionalidad, del Viceministerio de Servicios Básicos del Ministerio del Agua, recomienda la edición e impresión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, solicitando dar curso a la aprobación de la norma precitada así como a sus reglamentos.

POR TANTO:

El Ministro del Agua, en aplicación de sus atribuciones conferidas por ley.

RESUELVE:

Artículo 1º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "A".

Artículo 2º.- Aprobar los Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable, en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "B"

Artículo 3º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "C".

Artículo 4º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "D".

Artículo 5º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras", que forman parte de la presente Resolución como Anexo "E".

Artículo 5º.- Aprobar el Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, que forman parte integrante de la presente Resolución como Anexo "F".

Artículo 6º.- La Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, aprobadas mediante la presente Resolución Ministerial, deberán ser obligatoriamente aplicadas en todo el territorio nacional, por instituciones y profesionales del sector, en el diseño de sistemas de agua potable.

Artículo 7º.- Se autoriza al Viceministerio de Servicios Básicos para que en coordinación con la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua proceda a la edición, reimpresión, difusión y distribución en forma gratuita de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, a Municipios, Entidades e Instituciones públicas y privadas, bibliotecas universitarias, sociedades de profesionales, programas y proyectos del sector y otros priorizados por el Viceministerio de Servicios Básicos.

Artículo 8º.- El Viceministerio de Servicios Básicos y la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 9º.- Se abroga la Resolución Ministerial Nº 230/2004, de 07 de septiembre de 2004, emitida por el Ministerio de Servicios y Obras Publicas. Quedan abrogadas y derogadas todas las resoluciones contrarias a la presente Resolución Ministerial.

Regístrese, comuníquese, cúmplase y archívese.

Alcides Franco Torrico
VICEMINISTRO DE SERVICIOS BASICOS E.I.
MINISTERIO DEL AGUA

Walter Valda Rivera
MINISTRO DEL AGUA

Calle Capitán Castrillo Nº 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

PRESENTACION

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas a través del Viceministerio de Servicios Básicos en aplicación de las atribuciones y obligaciones establecidas por Ley, con el objetivo de disponer de un instrumento normativo, complementario a la NB 512, pone a disposición de profesionales e instituciones del sector la presente Norma: "Agua Potable – Toma de Muestras" en su primera revisión.

Esta Norma tiene por objeto establecer las condiciones y frecuencias para la toma de muestras de agua destinado a uso y consumo humano, la realización de análisis físicos, químicos, bacteriológicos, métodos de muestreo, transporte y conservación.

La elaboración del presente documento fue posible gracias a la participación de profesionales del sector e instituciones que de manera desinteresada contribuyeron para que nuestro país cuente con un valioso instrumento técnico.

NORMA BOLIVIANA NB 496 – 05 “AGUA POTABLE - TOMA DE MUESTRAS”

INDICE

Página

INTRODUCCIÓN 7

OBJETO 7

CAMPO DE APLICACIÓN 7

REFERENCIAS 7

DEFINICIONES 7

SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO 9

MÉTODO DE MUESTREO 9

PROCEDIMIENTO DE LA TOMA DE MUESTRAS 10

TRANSPORTE Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS 14

CONDICIONES DE ENVASES Y TAPAS PARA LAS MUESTRAS 15

CONTROL DE CALIDAD EN EL MUESTREO 16

BIBLIOGRAFÍA 19

ANEXO A. REGISTRO DE PUNTOS DE MUESTREO 21

ANEXO B. FORMULARIO DE MUESTREO 22

Agua Potable - Toma de Muestras

1 INTRODUCCIÓN

La determinación de los parámetros físico-químicos, bacteriológicos y radiológicos de caracterización del agua potable, son esenciales para el control de la calidad y permiten garantizar la salud pública. La actividad de muestreo y las frecuencias de control, deben ser confiables y representativas, siendo una de las etapas más importantes dentro del proceso de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano.

2 OBJETO

Esta norma establece las condiciones y frecuencias necesarias para llevar a cabo el muestreo representativo de agua, potable para ser sometida a análisis físicos, químicos, bacteriológicos y/o radiológicos y determinar su calidad.

3 CAMPO DE APLICACIÓN

El campo de aplicación de ésta norma comprende los sistemas de agua potable en los cuales se realiza el muestreo para la caracterización, el control y la vigilancia de la calidad del agua potable.

4 REFERENCIAS

NB 495 Agua potable - Definiciones y terminología.
NB 512 Agua potable - Requisitos

5 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma se aplican las siguientes definiciones.

5.1 Agua para consumo humano
Agua que cumple con los requisitos de la Norma 512. También se denomina agua potable.

5.2 Análisis bacteriológico
Aplicación de métodos analíticos de laboratorio que permiten determinar las características bacteriológicas del agua.

5.3 Análisis físico-químico
Aplicación de métodos analíticos de laboratorio que permiten determinar las características físico químicas del agua en forma cualitativa y cuantitativa, incluyéndose las organolépticas como parte de las características físicas.

5.4 Análisis radiológico
Aplicación de métodos analíticos de laboratorio que permiten determinar las características radiológicas debida principalmente a la actividad de los radionucleidos en el agua.

5.5 Autoridad competente
Organismo al cual se le ha otorgado el derecho de hacer cumplir una función determinada.

5.6 Ente Regulador
La Autoridad en materia de agua potable y saneamiento, es quien regula y vela el cumplimiento de las condiciones contractuales de la EPSA con su contrato de Concesión.

5.7 Bitácora de campo
Es el registro detallado de solicitudes, permisos, órdenes y toda especificación que tiene carácter oficial y legal en el proceso de muestreo que estará en poder de la EPSA y accesible a la Autoridad competente.

5.8 Blanco de equipo
Envase lleno con el agua final del enjuague de la descontaminación de los equipos. Sirve para controlar la presencia de contaminación durante el análisis y verificar la calidad del análisis.

5.9 Blanco de campo
Envase con agua desionizada, llenado en el punto de muestreo, para investigar la presencia contaminación durante la colecta y envió de las muestras y verificar la calidad del análisis.

5.10 Control de calidad
Es el control efectuado en el proceso de muestreo a objeto de que el mismo sea confiable y representativo.

5.11 Entidad prestadora de servicio de agua potable y alcantarillado (EPSA)
Persona jurídica, publica o privada encargada por contrato de una o más de las tareas de prestación de servicio de agua potable y de alcantarillado.

5.12 Formato de custodia
Procedimiento que formaliza la custodia de muestras mantiene y documenta la posesión de una muestra.

5.13 Muestra de agua
La fracción significativa y representativa de una masa mayor de agua que conserva sus propiedades y características.

5.14 Muestra de control de calidad de laboratorio
Muestra adicional colectada para efectos de control de calidad.

4.15 Muestra dividida
Muestra adicional que se envía a un laboratorio diferente con el fin de probar procedimientos y desempeño del laboratorio de EPSA

5.16 Muestra duplicada
Aquella que permite verificar la precisión de la colecta en campo o en laboratorio, tomada en puntos de muestreo donde se presuma que existen niveles altos de un compuesto particular.

5.17 Muestra simple
Es aquella que representa las condiciones y características del agua potable en la red de distribución.

5.18 Muestreo
Acción que consiste en tomar muestras con el objeto de analizar sus propiedades y características.

5.19 Punto de muestreo

Lugar físico de donde se extrae una muestra representativa, para su posterior caracterización físico-química, bacteriológica y/o radiológica.

6 SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

6.1 Criterios de selección

Las muestras deben tomarse en lugares representativos del sistema de agua potable, aplicando los criterios de selección y ubicación en los puntos de muestreo, de acuerdo con la reglamentación vigente.

6.2 Clasificación de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo se clasifican en:

a) Puntos fijos convenidos o acordados entre el Ente Regulador y la Entidad Prestadora de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (EPSA)
b) Puntos fijos definidos por la EPSA para fines de control operativo y de calidad.
c) Puntos aleatorios o variables

Para fines de control de calidad, la EPSA debe implementar un programa de control de calidad, en el cual debe ubicar cada punto de muestreo fijo convenido, según corresponda, con el Ente Regulador o la Autoridad Competente y codificarlo para realizar un control estadístico.

El seguimiento por parte del Ente Regulador se realiza a través de puntos fijos convenidos y los que elija como puntos aleatorios o variables, de acuerdo al caso que se presente.

Para fines de vigilancia, la Autoridad Competente, verificará la calidad del agua a través de los resultados de los puntos fijos convenidos o realizando muestreos en puntos aleatorios o variables de acuerdo al caso que se presente.

7 MÉTODO DE MUESTREO

7.1 Muestreo

La toma de muestra destinadas al análisis organoléptico, físico-químico, metales pesados, compuestos orgánicos, bacteriológico y/o radiológico debe ser a través de muestras simples, necesariamente debe ser realizada por una persona experimentada o entrenada para tal fin.

El procedimiento de muestreo en sistemas de abastecimiento se debe iniciar con el muestreo para análisis bacteriológico, seguido de las determinaciones, en el lugar, de cloro residual libre, pH, temperatura, conductividad y finalmente el muestreo para el análisis físico-químico o los requeridos de acuerdo a la frecuencia de muestreo.

7.2 Puntos de muestreo

Para realizar el muestreo se deben elegir grifos de instalaciones domiciliaria o pública en perfectas condiciones de funcionamiento, de acuerdo a los criterios enunciados en el punto 5.

El registro y ubicación de los puntos de muestreo debe ser controlado mediante la planilla detallada en el Anexo A.

7.3 Identificación de puntos de muestreo

Todas las muestras deben ir claramente identificadas, llevando una etiqueta o tarjeta, consignando los datos detallados en el Anexo B.

8 PROCEDIMIENTOS DE TOMA DE MUESTRAS

8.1 Procedimiento de muestreo parámetros microbiológicos

N°	Actividad	Descripción
1	Preparación de los frascos	Preparar los frascos de vidrio de boro silicato ó de polipropileno, de boca ancha, con tapa rosca de plástico, esterilizados y con un capuchón de papel kraft como protector sobre la tapa. La capacidad de los frascos debe ser de 500 ml para los ensayos en membrana filtrante. Si estos frascos se emplean para recolectar muestras de agua que contengan cloro residual (agua tratada), deben tratarse con un agente neutralizador (tiosulfato de sodio), que debe agregarse a los frascos limpios y secos antes de su esterilización, en una concentración de 100 mg/l, esto se consigue agregando 0,1 ml de solución de tiosulfato al 10 % por cada 100 ml de agua.
2	Codificación del frasco de muestreo	Codificar el frasco de muestreo (pone la fecha y el código de la muestra correspondiente).
3	Verificación de las condiciones del grifo	Verificar que el grifo seleccionado, sea de uso constante y no presente deterioros.
4	Limpieza del grifo	Eliminar del grifo cualquier adherencia o suciedad mediante una pinza con una torunda de algodón empapada con alcohol, descartando este material.
5	Esterilización del grifo	Esterilizar el grifo durante un minuto con la llama proveniente de una nueva torunda de algodón emparada en alcohol, siempre con la ayuda de una pinza.
6	Purga de agua del grifo	Abrir el grifo para dejar correr agua de 1 min a 3 min, eliminando impurezas y agua estancada en la tubería.
7	Regulación del flujo	Regular el flujo de agua proveniente del grifo, con el objeto de evitar la salida del neutralizador de cloro del frasco de muestreo.
8	Extracción de la muestra	Destapar el frasco esterilizado y llena con la muestra, sujetando con una mano la tapa con el capuchón protector y con la otra pone el frasco bajo el chorro de agua, evitando el contacto del grifo con la boca del frasco. Dejar un espacio de aire de 1 cm antes de que el agua llegue al tope del frasco, lo que facilita homogenizar la muestra antes de su análisis.
9	Tapado del frasco	Tapar el frasco, enroscando la tapa con el capuchón.
10	Registro de datos	Registrar en las planillas de muestreo, la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas.
11	Transportar la muestra	Transporta el/los frasco(s) en conservadores con hielo.

8.2 Procedimiento de muestreo parámetros físico-químicos

N°	Actividad	Descripción
1	Preparación de los frascos	Preparar los frascos de polietileno con una capacidad de 2 “l”; La recolección de muestras para analizar pH se debe tomar en un frasco de 300 ml.
2	Codificación del frasco de muestreo	Codificar el frasco de muestreo (pone la fecha y el código de la muestra correspondiente)
3	Verificación de las condiciones del grifo	Verificar que el grifo seleccionado, sea de uso constante y no presente deterioros.
4	Purga del agua de la red	Dejar correr el agua por las tuberías a objeto de asegurar que la muestra es representativa del agua de la red de suministro y no agua estancada.
5	Enjuague del frasco	Enjuagar el frasco dos (2) a tres (3) veces con la misma muestra.
6	Extracción de la muestra	Llenar el frasco hasta que rebalse, evitando el contacto del grifo con la boca del frasco.
7	Cierre del frasco	Tapar el frasco con sumo cuidando para que no queden burbujas en su interior.
8	Registro de datos	Registrar en las planillas de muestreo, la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas.
9	Transporte de la muestra	Transportar el/los frasco(s) en conservadores con hielo.

8.3 Procedimiento de muestreo parámetros de metales pesados

N°	Material / Actividad	Descripción
1	Consideración de las condiciones de muestreo.	Considerar las prácticas recomendadas para la toma de muestras, como: Evitar la toma de muestras en fábricas o inmuebles donde se realizan trabajos de soldadura y mecánica, ya que las trazas de metales afectan a los ensayos y sus resultados. Los ensayos de hierro y manganeso, en el agua potable, se entiende como la determinación de analitos disueltos, para ello no es necesario filtrar la muestra.
2	Frascos	Preparar los frascos para la toma de muestras de metales pesados. Utilizar frascos de polietileno, de boca ancha, con capacidad de 300 ml. Para analizar parámetros como el hierro disuelto y manganeso disuelto, el frasco debe contener como conservante, ácido nítrico ultra puro, 2 ml por litro de muestra.
3	Codificación del frasco de muestreo	Codificar el frasco de muestreo (pone la fecha y el código de la muestra correspondiente).
4	Verificación de las condiciones del grifo	Verificar que el grifo seleccionado sea de uso constante y no presente deterioros.
5	Purga del agua de la red	Dejar correr el agua por las tuberías a objeto de asegurar que la muestra es representativa del agua de la red de suministro y no agua estancada.

6	Extracción de la muestra	Llenar el frasco, regulando el flujo de agua del grifo para evitar el rebalse del agua y de esta forma la salida del conservante, completada la operación tapar de manera inmediata el frasco.
7	Registro de datos	Registrar datos relevantes del muestreo, el tipo de agua a analizar, la procedencia, metodología de muestreo y otras condiciones como la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas.
8	Transporte de la muestra	Transportar el/los frasco(s) en conservadores con hielo.

8.4 Procedimiento de muestreo parámetros compuestos orgánicos

N°	Material / Actividad	Descripción
1	Consideración de las condiciones de muestreo.	Evitar la toma de muestras en fábricas o inmuebles donde se realizan el uso o producción de compuestos orgánicos en general.
2	Frascos	Utilizar frascos de vidrio ámbar, con capacidad de 1 000 ml.
3	Verificación de las condiciones del grifo	Verificar que el grifo seleccionado sea de uso constante y no presente deterioros.
4	Purga del agua de la red	Dejar correr el agua por las tuberías a objeto de asegurar que la muestra es representativa del agua de la red de suministro y no agua estancada.
5	Enjuague del frasco	Enjuagar el frasco dos (2) a tres (3) veces con la misma muestra.
6	Extracción de la muestra	Llenar el frasco hasta que rebalse, evitando el contacto del grifo con la boca del frasco.
7	Cierre del frasco	Tapar el frasco con sumo cuidando para que no queden burbujas en su interior.
8	Registro de datos	Registrar en las planillas de muestreo, la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas.
9	Transporte de la muestra	Transportar el/los frasco(s) en conservadores con hielo. Conservar las muestras refrigeradas a una temperatura de 4 °C.

8.5 Procedimiento de muestreo parámetros compuestos fenólicos

N°	Material / Actividad	Descripción
1	Consideración de las condiciones de muestreo	Evitar la toma de muestras en fábricas o inmuebles donde se realizan el uso o producción de compuestos orgánicos en general.
2	Frascos	Utilizar frascos de vidrio ámbar, con capacidad de 1 000 ml. Éstos deben llevar como conservante, 10 g $CuSO_4$/l de muestra. pH < 4
3	Codificación del frasco de muestreo	Codificar el frasco de muestreo (pone la fecha y el código de la muestra correspondiente).
4	Verificación de las condiciones del grifo	Verificar que el grifo seleccionado sea de uso constante y no presente deterioros.
5	Purga del agua de la red	Dejar correr el agua por las tuberías a objeto de asegurar que la muestra es representativa del agua de la red de suministro y no agua estancada.
		Llenar el frasco, regulando el flujo de agua del grifo para

6	Extracción de la muestra	evitar el rebalse del agua y de esta forma la salida del conservante, completada la operación tapar de manera inmediata el frasco.
7	Registro de datos	Registrar datos relevantes del muestreo, el tipo de agua a analizar, la procedencia, metodología de muestreo y otras condiciones como la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas.
8	Transporte de la muestra	Transportar el/los frasco(s) en conservadores con hielo. Conservar las muestras refrigeradas a una temperatura de 4 °C.

8.6 Procedimiento de muestreo parámetros plaguicidas organoclorados

N°	Material / Actividad	Descripción
1	Consideración de las condiciones de muestreo.	Evitar la toma de muestras en fábricas o inmuebles donde se realizan el uso o producción de compuestos orgánicos en general.
2	Frascos	Utilizar frascos de vidrio ámbar, con capacidad de 1 000 ml. Estos deben llevar como conservante H_2SO_4 a pH < 2; 0,5 g $CuSO_4$/l de muestra.
3	Codificación del frasco de muestreo	Codificar el frasco de muestreo (pone la fecha y el código de la muestra correspondiente).
4	Verificación de las condiciones del grifo	Verificar que el grifo seleccionado sea de uso constante y no presente deterioros.
5	Purga del agua de la red	Dejar correr el agua por las tuberías a objeto de asegurar que la muestra es representativa del agua de la red de suministro y no agua estancada.
6	Extracción de la muestra	Llenar el frasco, regulando el flujo de agua del grifo para evitar el rebalse del agua y de esta forma la salida del conservante, completada la operación tapar de manera inmediata el frasco.
7	Registro de datos	Registrar datos relevantes del muestreo, el tipo de agua a analizar, la procedencia, metodología de muestreo y otras condiciones como la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas.
8	Transporte de la muestra	Transportar el/los frasco(s) en conservadores con hielo. Conservar las muestras refrigeradas a una temperatura de 4 °C.

8.7 Procedimiento de muestreo parámetros plaguicidas organofosforados

N°	Material / Actividad	Descripción
1	Consideración de las condiciones de muestreo	Evitar la toma de muestras en fábricas o inmuebles donde se realizan el uso o producción de compuestos orgánicos en general.
2	Frascos	Utilizar frascos de vidrio ámbar, con capacidad de 1 000 ml. Éstos deben llevar como conservante HCl al 10 % a pH < 4,4
3	Codificación del frasco de muestreo	Codificar el frasco de muestreo (pone la fecha y el código de la muestra correspondiente).
4	Verificación de las condiciones del grifo	Verificar que el grifo seleccionado sea de uso constante y no presente deterioros.

5	Purga del agua de la red	Dejar correr el agua por las tuberías a objeto de asegurar que la muestra es representativa del agua de la red de suministro y no agua estancada.
6	Extracción de la muestra	Llenar el frasco, regulando el flujo de agua del grifo para evitar el rebalse del agua y de esta forma la salida del conservante, completada la operación tapar de manera inmediata el frasco.
7	Registro de datos	Registrar datos relevantes del muestreo, el tipo de agua a analizar, la procedencia, metodología de muestreo y otras condiciones como la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas.
8	Transporte de la muestra	Transportar el/los frasco(s) en conservadores con hielo. Conservar las muestras refrigeradas a una temperatura de 4 °C.

8.8 Procedimiento de muestreo parámetros radiológicos

Al determinar la frecuencia de muestras y elegir los métodos de toma y análisis deberán tomarse en cuenta las fluctuaciones observadas en la actividad de los radionúclidos en el agua, la proximidad de instalaciones nucleares o de otras fuentes de radiocontaminación y los riesgos de contaminación.

Muchos radionúclidos se absorben fácilmente en superficies y partículas sólidas, por lo cual conviene no tomar la muestra solo en los grifos sino también en las fuentes de captación y en los puntos más adecuados de la red de distribución.

El volumen mínimo de muestras debe ser de un litro, recogiéndose en un frasco de polietileno para reducir la posibilidad de absorción de radioactividad por las paredes del recipiente.

La toma de muestras debe ser efectuada, previa coordinación con el laboratorio especializado.

NOTA

Para la determinación de estos parámetros, se requiere de un laboratorio especializado, en Bolivia por ejemplo el IBTEN (Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear).

9 TRANSPORTE Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS

9.1 Transporte de las muestras

Entre la toma de muestras y el análisis debe transcurrir el menor tiempo posible y en ningún caso más de 72 h, debiendo mantenerse la temperatura de la muestra durante el transporte (sólo para análisis físico-químico de muestras de agua). Se transportarán las muestras en cajas adecuadas, para evitar las pérdidas de muestras por transporte.

9.2 Conservación de las muestras

Se deben mantener refrigeradas, manteniendo los recipientes con hielo u otro sistema de enfriamiento durante el tiempo que dure su transporte al laboratorio.

9.3 Conservadores

Solo se permitirá agregar a las muestras los preservativos indicados en los métodos normalizados.

La siguiente tabla establece las condiciones de transporte y conservación de muestras:

Tabla 1 - Condiciones de transporte y conservación de muestras

Tipo de Muestreo	Descripción
Bacteriología	El tiempo transcurrido entre la toma y el ensayo no debe superar las 24 h. Es importante que durante el transporte, las muestras se mantengan refrigeradas entre 4 °C a 10 °C. Si no pueden procesarse las muestras de inmediato a la hora de su llegada, se guardaran en refrigeración por 24 h..
Físico-químico	Los métodos de preservación, son relativamente limitados y generalmente tienen por objeto: Retardar la hidrólisis de los compuestos y complejos químicos; disminuir la volatilidad de los compuestos
Metales pesados	Después de acidular la muestra, conservar preferiblemente a temperatura de 4 °C para evitar un cambio de volumen ocasionado por la evaporación, en estas condiciones las muestras se mantienen estables por un periodo de hasta 6 meses

10 CONDICIONES DE ENVASES Y TAPAS PARA LAS MUESTRAS

10.1 Pretratamiento y/o limpieza de los envases para análisis físico-químico

Los envases para análisis físico-químico deben estar perfectamente limpios, libres de cualquier residuo químico. En el momento de la toma de muestras, se debe enjuagar el envase con el agua a muestrear.

La siguiente tabla especifica el procedimiento de lavado de envases

Tabla 2 - Procedimientos de lavado de envases según el tipo de análisis físico-químico

Compuesto o elemento a analizar	Envase recomendado	Volumen del envase (ml)	Procedimiento de lavado
Alcalinidad Arsénico Boro Calcio Cloruro Detergentes Dureza total Fluoruro Magnesio pH Potasio Sodio Sulfato Sulfuros	Polietileno	1 000	Enjuague: 3 veces con agua cruda Una vez con ácido crómico 3 veces con agua cruda Una vez con ácido nítrico 1:1 3 veces con agua destilada
Amoniaco C.O.T. Fósforo total Nitrato Nitrito Nitrógeno total	Polietileno Vidrio	250 50	Enjuague: 3 veces con agua cruda Una vez con ácido crómico 3 veces con agua cruda 3 veces con agua destilada
Aluminio Antimonio Cadmio			Enjuague:

Cianuro total Cobre Cromo Hierro Manganeso Mercurio Níquel Plomo Selenio Zinc	Polietileno Vidrio	1 000 100	3 veces con agua cruda Una vez con ácido crómico 3 veces con agua cruda Una vez con ácido nítrico 1:1 3 veces con agua destilada
Acrilamida Benceno Benzo (a) pireno Cloroformo Cloruro de vinilo Fenoles Herbicidas Plaguicidas PCBs Organoclorados	Vidrio ámbar con tapa de teflón	1 000	Enjuague: 3 veces con agua cruda Una vez con ácido crómico 3 veces con agua libre de orgánicos 2 veces con acetona Una vez con acetona grado plaguicida 2 veces con hexano grado plaguicida Secar en horno a 360 °C por lo menos 12 h
Grasas y aceites	Vidrio	1 000	Enjuague: 3 Veces con agua cruda 3 veces con agua libre de orgánicos Lavar con solvente Secar con aire

NOTA
Esta lista de compuestos o elementos excede los parámetros exigidos en la norma NB 512, constituyéndose en una lista de referencia en caso de analizarse los parámetros no exigidos.

10.2 Pretratamiento y/o limpieza de los envases para análisis bacteriológico

Se esterilizarán envases en un autoclave a 121 °C durante 20 min.

Tabla 3 - Procedimiento de lavado para análisis bacteriológico

Tipo de análisis	Envase recomendado	Volumen del envase (ml)	Procedimiento de lavado
Bacteriológico	Polietileno Vidrio	500 500	Esterilizar y para agua potable, adicionar al frasco, antes de esterilizar, tiosulfato de sodio, con el fin de neutralizar la acción del cloro residual

11 CONTROL DE CALIDAD EN EL MUESTREO

La toma de muestras requiere de la siguiente documentación para la certificación, el control y el aseguramiento de la calidad, así como una serie de blancos o controles que se necesitan para evaluar los procedimientos empleados en la toma, manejo y transporte de las muestras, como se describe a continuación:

11.1 Registro de muestreo en campo

Se debe disponer de un registro de muestreo que contenga apuntes detallados que describan como se tomaron las muestras, determinaciones de campo, información de la cadena de custodia. Los registros deben ser legibles y completos, por su importancia oficial y legal, los cuales deben ser conservados bajo la responsabilidad de la EPSA y ser

accesibles a la Autoridad Competente o al Ente Regulador. En los Anexos A y B se detallan los formularios a ser registrados en los procedimientos de muestreo.

11.2 Cadena de vigilancia

Una muestra debe ser sellada para prevenir su falsificación. Por lo tanto se exigirá la aplicación de un procedimiento de cadena de vigilancia:

N°	Actividad	Descripción
1	Seleccionar los blancos	De cada lote de frascos preparados para el muestreo, seleccionar, preparar los blancos y transportarlos conjuntamente con las muestras.
2	Seleccionar de la muestras duplicadas	Selecciona los puntos para la toma de muestras duplicadas. Una muestra/mes por sistema de abastecimiento.
3	Tomar muestras duplicadas	Toma muestras duplicadas, conforme a programa de muestreo pre-establecido.
4	Registrar datos de muestra	Registra datos relevantes del muestreo, el tipo de agua a analizar, la procedencia, metodología de muestreo y otras condiciones.

11.3 Control de calidad

11.3.1 Blanco viajero

Son envases con agua destilada y desionizada que serán llenados en laboratorio, se debe tomar un frasco de cada lote de los que se usarán, antes de realizar el muestreo. Se llenará con agua ultra pura, preservarlo de igual forma que las muestras de campo, transportar junto a las muestras tomadas para su posterior análisis, detectando de esta manera cualquier contaminación de los frascos de las muestras.

11.3.2 Muestras duplicadas

El Ente Regulador o la Autoridad Competente, podrán realizar muestras adicionales, llamadas **duplicados**, para verificar los procedimientos de control de la calidad de las EPSAS. El numero, tipo y manejo de las muestras, será especificado por la autoridad encargada del seguimiento. Los trabajos relacionados a muestreo y análisis de laboratorio, se realizarán en un laboratorio acreditado o reconocido por buenas practicas y contratado por estas instancias.

11.3.3 Muestras de control de calidad de laboratorio

Para cada cierta cantidad de muestras fijas colectadas, la EPSA debe colectar una muestra adicional para el control de calidad, debiéndose identificar como muestra de control de calidad o duplicada. Se tomará una muestra duplicada al mes, de la red de distribución.

12 FRECUENCIAS DE MUESTREO

12.1 Número de muestras en puntos fijos

Para el control de calidad del agua potable, se realizará el muestreo de acuerdo a la condición establecida en la tabla 4.

Tabla 4 - Número de muestras que deben ser analizadas en la red de distribución (*)

Población (hab.)	Cantidad
≤ 1.000	1/trimestral
1 001 a 2 000	1/bimensual
2 001 a 5 000	1/mes
5 001 a 10 000	(1c/5 000 hab)/mes
10 001 a 20 000	(1c/5 000 hab)/mes
20 001 a 30 000	(1c/5 000 hab)/mes
30 001 a 50 000	(1c/5 000 hab)/mes
50 001 a 100 000	(1c/5 000 hab)/mes
100 001 a 500 000	(10 + 1c/10 000 hab)/mes
> 500 000	(10 + 1c/10 000 hab)/mes

(*) De acuerdo a lo establecido en el Reglamento Técnico

Adicionalmente se deberá realizar la toma de muestras en las unidades de salida de la Planta de tratamiento de agua potable y/o tanques de almacenamiento de agua potable. La frecuencia y parámetros de control se consideran en la reglamentación específica.

12.2 Parámetros de control de calidad del agua potable

Se debe realizar el control de la calidad el agua potable de acuerdo a las condiciones determinadas en el control mínimo, control básico, control complementario y control especial.

El control de calidad se realizará en la red de distribución, en la salida de la planta de tratamiento y/o el tanque de almacenamiento de agua potable.

Los parámetros de control de calidad en el agua potable, están detallados en las Tablas N° 1, 2, 3 Y 4 del Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

12.3 Frecuencia de muestreo y control de calidad

La frecuencia de toma de muestras de agua potable se realizará de acuerdo a las características de la fuente de abastecimiento de agua cruda, sea esta de fuente de agua superficial o subterránea.

La Tabla N° 6 del Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, presenta las condiciones de control de calidad y las frecuencias mínimas de muestreo en el punto de salida del tanque de almacenamiento y en la red de distribución de agua potable, en función a la población abastecida y al tipo de fuente (superficial o subterránea).

13 BIBLIOGRAFÍA

- Guías para la calidad del agua potable, 2ª edición, volumen 1, Organización Mundial de la Salud - Ginebra 1995
- Guías para la calidad del agua potable, 2ª Edición, volumen 3, Organización Mundial de la Salud - Ginebra 1998
- Normas de calidad de servicio en cuanto a la calidad del agua potable y efluentes cloacales, R Rojas, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS, 1999
- Gestión de la calidad de aguas, CNA, UMSA, CONAPHI, 1997
- Norma Boliviana NB 512 “Agua Potable – Requisitos”, 2004.
- Norma Boliviana NB 495 “Definiciones y Terminología”, 2005.
- Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, 2005.

Anexo A (Normativo)

Registro de puntos de muestreo

N°	ZONA	DIRECCIÓN	N° CASA	PUNTO DE MUESTREO	T °C	HORA	OBSERVACIONES

Anexo B (Normativo)

Formulario de muestreo

formulario de información básica sobre muestreo

1) Código de la muestra: .....
2) Hora de muestreo: .....
3) Localidad: .....
4) Dirección punto de muestreo: ..... zona: .....
5) Material del envase empleado para el muestreo: .....
6) Volumen de muestra extraída: .....
7) Temperatura de la muestra: .....
8) Tiempo requerido desde la toma de muestra hasta el laboratorio: .....
9) Tipo de conservación de la muestra: .....
10) Croquis del lugar:

Responsable del muestreo: .....

Fecha de muestreo: .....

Firma: .....

AGRADECIMIENTO

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas, a través del Viceministerio de Servicios Básicos, expresa su agradecimiento al Programa de Saneamiento Básico para Pequeños Municipios 1050/SF-BO “PROAGUAS”, a todas las instituciones, organizaciones y profesionales que de manera desinteresada hicieron posible la elaboración de este documento.

IBNORCA creado por Decreto Supremo N 23489 de fecha 1993-04-29 y ratificado como parte componente del Sistema Boliviano de la Calidad (SNMAC) por Decreto Supremo N 24498 de fecha 1997-02-17, es la Organización Nacional de Normalización responsable del estudio y la elaboración de Normas Bolivianas.

Representa a Bolivia ante los organismos Subregionales, Regionales e Internacionales de Normalización, siendo actualmente miembro activo del Comité Andino de Normalización CAN, del Comité Mercosur de Normalización CMN, miembro pleno de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas COPANT , miembro de la International Electrotechnical Commission IEC y miembro correspondiente de la International Organization for Standardization ISO.

Revisión

Esta norma está sujeta a ser revisada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

Características de aplicación de Normas Bolivianas

Como las normas técnicas se constituyen en instrumentos de ordenamiento tecnológico, orientadas a aplicar criterios de calidad, su utilización es un compromiso conciencial y de responsabilidad del sector productivo y de exigencia del sector consumidor.

Información sobre Normas Técnicas

IBNORCA, cuenta con un Centro de Información y Documentación que pone a disposición de los interesados Normas Internacionales, Regionales, Nacionales y de otros países.

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

Av. Busch Nº 1196 - Casilla 5034 - Teléfonos: (591-2) 2223777 - 2223666 - Fax (591-2) 2223410
info@ibnorca.org - La Paz - Bolivia

Formato Normalizado A4 (210 mm. x 297 mm.) Conforme a Norma Boliviana NB 723001 (NB 029)

Norma Boliviana

NB 512

REPÚBLICA DE BOLIVIA

MINISTERIO DEL AGUA
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

Agua Potable
Requisitos

IBNORCA

Tercera revisión
ICS 13.060.20
Agua Potable
Octubre 2004

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

Norma Boliviana NB 512

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

Agua Potable - Requisitos

Tercera Revisión

ICS 13.060.20 Agua Potable

Octubre 2004

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

IBNORCA

Prefacio

La revisión y actualización de la Norma Boliviana **NB 512-04 “Agua Potable - Requisitos (Tercera revisión)”**, ha sido encomendada al Comité Técnico Normalizador N° 3.1 "Agua Potable", integrado por las siguientes instituciones y personas:

Alcides Franco	Viceministerio de Servicios Básicos (Coordinador)
Reynaldo Villalba	Viceministerio de Servicios Básicos
Edwin Laruta	Viceministerio de Servicios Básicos
Enrique Torrico	Viceministerio de Servicios Básicos
Susana Jaramillo	Viceministerio de Servicios Básicos
Carlos Gámez	SISAB
Jorge Flores	SISAB
Carlos España	UMSA
José Díaz	UMSA
Ronny Vega	ANESAPA
Evel Álvarez	AISA
Rodolfo García	AISA
Gonzalo Dalence Ergueta	IBNORCA

Fecha de aprobación por el Comité Técnico 2004-09-07

Fecha de aprobación por el Consejo Rector de Normalización 2004-09-30

Fecha de ratificación por la Directiva de IBNORCA 2004-10-15

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº Nº 104

La Paz 11 DIC 2007

CONSIDERANDO:

Que, el literal e) del Artículo 3º de la Ley Nº 3351, de 2 de febrero de 2006, Ley de Organización del Poder Ejecutivo, establece como atribución general de los Ministros: "Dictar normas relativas al ámbito de su competencia y resolver en última instancia, todo asunto administrativo que corresponda al Ministerio".

Que, el literal c) del Artículo 4º de la Ley Nº 3351 Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de 21 de febrero de 2006, establece que es atribución específica del Ministro del Agua, plantear y ejecutar, evaluar y fiscalizar las políticas y planes de servicio de agua potable y saneamiento básico, riego y manejo de cuencas, aguas internacionales y transfronterizas.

Que el Artículo 61 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, establece que en la estructura del Ministerio del Agua, es la siguiente: Viceministerio de Servicios Básicos, Viceministerio de Riego y Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos.

Los literales d) y e) del Artículo 63 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, dispone que son funciones del Viceministro de Servicios Básicos, entre otras, las siguientes: d) Promover normas técnicas, disposiciones reglamentarias e instructivos para el buen aprovechamiento y regulación de los servicios básicos y proponer por conducto regular proyectos de leyes y otras disposiciones para el sector; e) Difundir y vigilar la aplicación de políticas, planes, proyectos y normas técnicas para el establecimiento y operación de los servicios básicos, ejerciendo tuición sobre la Superintendencia de Saneamiento Básico.

Que, el objetivo fundamental de la Norma y sus Reglamentos Técnicos es estandarizar el diseño y optimizar costos de inversión para permitir el acceso a los servicios de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales a un mayor número de personas, priorizando sectores sociales de menores ingresos económicos.

Que, la Norma y sus Reglamentos Técnicos recogen en la presente versión experiencias de la práctica moderna de la ingeniería sanitaria y de la utilización de tecnologías alternativas en el país, transmitida y consensuada mediante un proceso de amplia participación y consulta con profesionales del país.

Que, es necesaria la edición, reimpresión y difusión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, para permitir su aplicación por parte de los profesionales del sector con carácter obligatorio en el ámbito urbano y rural del país.

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

Que, de acuerdo a los Informes VSB/UNI 016/2007 y VSB/UNI – 21/07, la Unidad de Normas e Institucionalidad, del Viceministerio de Servicios Básicos del Ministerio del Agua, recomienda la edición e impresión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, solicitando dar curso a la aprobación de la norma precitada así como a sus reglamentos.

POR TANTO:

El Ministro del Agua, en aplicación de sus atribuciones conferidas por ley.

RESUELVE:

Artículo 1º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "A".

Artículo 2º.- Aprobar los Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable, en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "B"

Artículo 3º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "C".

Artículo 4º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "D".

Artículo 5º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras", que forman parte de la presente Resolución como Anexo "E".

Artículo 5º.- Aprobar el Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, que forman parte integrante de la presente Resolución como Anexo "F".

Artículo 6º.- La Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, aprobadas mediante la presente Resolución Ministerial, deberán ser obligatoriamente aplicadas en todo el territorio nacional, por instituciones y profesionales del sector, en el diseño de sistemas de agua potable.

Artículo 7º.- Se autoriza al Viceministerio de Servicios Básicos para que en coordinación con la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua proceda a la edición, reimpresión, difusión y distribución en forma gratuita de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, a Municipios, Entidades e Instituciones públicas y privadas, bibliotecas universitarias, sociedades de profesionales, programas y proyectos del sector y otros priorizados por el Viceministerio de Servicios Básicos.

Artículo 8º.- El Viceministerio de Servicios Básicos y la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 9º.- Se abroga la Resolución Ministerial Nº 230/2004, de 07 de septiembre de 2004, emitida por el Ministerio de Servicios y Obras Publicas. Quedan abrogadas y derogadas todas las resoluciones contrarias a la presente Resolución Ministerial.

Regístrese, comuníquese, cúmplase y archívese.

Alcides Franco Torrico
VICEMINISTRO DE SERVICIOS BASICOS E.I.
MINISTERIO DEL AGUA

Walter Valda Rivera
MINISTRO DEL AGUA

Calle Capitán Castrillo Nº 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

PRESENTACION

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas, a través del Viceministerio de Servicios Básicos en aplicación de las atribuciones y obligaciones establecidas por Ley, con el objetivo de disponer de un instrumento normativo para el control de la calidad del agua para consumo humano, pone a disposición de profesionales e instituciones del sector la presente Norma: “Agua Potable – Requisitos” NB 512, en su tercera revisión.

Esta Norma tiene por objeto establecer los valores máximos aceptables de los diferentes parámetros que determina la calidad de agua abastecida con destino al uso y consumo humano y las modalidades de aplicación y control.

En la presente Norma se han incluido requisitos químicos, orgánicos y microbiológicos en atención a necesidades actuales de control a nivel nacional.

La actualización de esta Norma fue posible gracias a la participación de profesionales del sector, el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) y otras instituciones que de manera desinteresada contribuyeron para que nuestro país cuente con este valioso instrumento técnico.

NORMA BOLIVIANA NB 512 – 04 “AGUA POTABLE – REQUISITOS”

INDICE

Página

INTRODUCCIÓN 11
OBJETO 11
CAMPO DE APLICACIÓN 11
REFERENCIAS 11
DEFINICIONES 12
REQUISITOS 13
MESTREO 16
METODOS DE ENSAYO 16
BIBLIOGRAFÍA 17

Agua Potable - Requisitos

1 INTRODUCCIÓN

La calidad del agua con destino al consumo humano tiene implicaciones importantes sobre los aspectos sociales y económicos que actúan indirectamente sobre el desarrollo de un país. Caracterizar la calidad del agua a través de la definición de los valores máximos aceptables de los parámetros organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es fundamental para proteger la salud pública.

La estructura de la norma toma en consideración la importancia sanitaria de los parámetros a analizar, la calidad y la sensibilidad de las fuentes utilizadas para la producción de agua para consumo humano.

Los objetivos de esta norma son:

a) Proteger la salud de la población, definiendo y determinando parámetros de calidad del agua, con sus respectivos niveles, basados en principios de gestión de riesgo, con la finalidad de brindar agua apta para consumo humano.
b) Ser factibles en el contexto del país, tomando en cuenta la capacidad analítica de los laboratorios y las condiciones técnico-económicas de las entidades prestadoras de servicios de agua y alcantarillado - EPSA.
c) Establecer parámetros para el control y vigilancia de la calidad del agua de consumo humano, de acuerdo con la realidad nacional, sin que ello implique poner en riesgo la salud humana.

2 OBJETO

Esta norma establece los valores máximos aceptables de los diferentes parámetros, que determinan la calidad de agua abastecida con destino al uso y consumo humano y las modalidades de aplicación y control.

3 CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma se aplica a todas las aguas abastecidas con destino al uso y consumo humano.

4 REFERENCIAS

Los siguientes documentos normativos contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen disposiciones válidas para esta norma. Como normas, están sujetas a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas citadas a continuación:

NB 495 Agua Potable - Definiciones y Terminología
NB 496 Agua Potable - Toma de Muestras

5 DEFINICIONES

5.1 Agua potable

Aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en la presente norma.

5.2 Características microbiológicas

Aquellas debidas a la presencia de bacterias y otros microorganismos nocivos a la salud humana.

5.3 Características organolépticas

Aquellas que se detectan sensorialmente (sabor, color y olor) y que influyen en la aceptabilidad del agua

5.4 Características químicas

Aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos, que en concentraciones mayores a lo establecido en la norma, pueden causar efectos nocivos a la salud.

5.5 Características físicas

Aquellas que miden las propiedades que influyen en la calidad del agua: Color, turbiedad, sólidos totales y sólidos totales disueltos; resultantes de la presencia de un número de constituyentes físicos.

5.6 Características radiactivas

Aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.

5.7 Plaguicidas

Término genérico que incluye todos los compuestos que forman parte de las siguientes familias de compuestos orgánicos: Insecticidas, herbicidas, funguicidas, acaricidas, nematocidas y alguicidas; los productos derivados y sus metabolitos; productos de degradación y de reacción de los mismos.

5.8 Valor máximo aceptable

Aquel valor establecido para los diferentes parámetros, el cual no debe ser excedido.

6 REQUISITOS

6.1 Requisitos físicos y organolépticos

Tabla 1 - Requisitos físicos y organolépticos

Características	Valor máximo aceptable	Observaciones
Color (**)	15 UCV	UCV = Unidad de color verdadero (y no presentar variaciones anormales) – UCV en unidades de platino cobalto
Sabor y olor (*)	------	Deben ser aceptables
Turbiedad (**)	5 UNT	UNT = unidades nefelométricas de turbiedad
Sólidos totales disueltos (**)	1 000 mg/l (***)	Valor superior influye en la aceptabilidad

(*) Para efectos de evaluación, el sabor y el olor se determinan por medio de los sentidos.
(**) Para efectos de evaluación, el color, la turbiedad y los sólidos totales disueltos, se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.
(***) Valores superiores pueden influir en la apariencia, el sabor, el olor o perjudicar otros usos del agua (véanse guías OPS/OMS)

NOTA

El parámetro temperatura, se debe medir en el punto de muestreo y en laboratorio a tiempo de realizar los análisis. Sirve como referencia para los análisis microbiológicos y para el cálculo del Índice de Langelier.

6.2 Requisitos químicos

Tabla 2 - Requisitos químicos

Características		Valor máximo aceptable	Observaciones
Dureza total		500,0 mg/l $CaCO_3$	
pH[(1)]		9,0	Límite inferior 6,5
Compuestos inorgánicos:			
Aluminio	Al	0,1 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Arsénico	As	0,01 mg/l(*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Amoniaco	NH_3	0,5 mg/l (**)	Valor mayor influye en la aceptabilidad, por el olor y el sabor
Antimonio	Sb	0,005 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Bario	Ba	0,7 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Boro	B	0,3 mg/l (**)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Cadmio	Cd	0,005 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Calcio	Ca	200,0 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Cianuro	CN^-	0,07 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Cloro residual		1,0 mg/l	Límite inferior 0,2 mg/l, en

			un punto terminal de la red
Cloruros	Cl^-	250,0 mg/l (*)	Valores mayores originan corrosión que se refleja en la aceptabilidad por el sabor
Cobre	Cu	1,0 mg/l (**)	Valor mayor influye en la aceptabilidad, por el olor y el sabor
Cromo total	Cr	0,05 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Fluoruro	F^-	1,5 mg/l (**)	Deberá tenerse en cuenta la adaptación climática del lugar
Hierro total	Fe	0,3 mg/l (**)	Valor mayor influye en la aceptabilidad, por el color
Magnesio	Mg	150,0 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Manganeso	Mn	0,1 mg/l (**)	Valor mayor influye en la aceptabilidad, por el sabor
Mercurio	Hg	0,001 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Níquel	Ni	0,05 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Nitritos (2)	NO_2^-	0,1 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Nitratos (2)	NO_3^-	45,0 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Plomo	Pb	0,01 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Selenio	Se	0,01 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Sodio	Na	200,0 mg/l (**)	Valor mayor influye en la aceptabilidad, por el sabor
Sulfatos	$SO_4^=$	400,0 mg/l (**)	
Zinc	Zn	5,0 mg/l (**)	
Compuestos orgánicos:			
Acrilamida (3)		0,5 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Benceno		2,0 μg/l (***)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Benzo[a]pireno		0,2 μg/l (***)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Cloroformo		100 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Cloruro de vinilo		2,0 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Epiclorhidrina (3)		0,4 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Etilbenceno		300,0 μg/l (*) (**) (***)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Fenol		2,0 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud

THM (Trihalometanos totales)	100,0 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
TPH (Hidrocarburos totales)	10,0 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Tolueno	700,0 μg/l (*) (**) (***)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Xileno	500,0 μg/l (*) (**) (***)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud

(1) Adoptar con respecto al equilibrio calcio-carbónico, corresponde a un parámetro físico-químico.
(2) La condición según la cual $(NO_3\text{-}/45) + (NO_2\text{-}/0,1) < 1$.
(3) Todos y cada uno de los sistemas de agua, deben declarar por escrito al Estado, que si usan acrilamida y/o epiclorohidrina para tratar el agua, la combinación (o producto) de dosis y cantidad del monómero, no superará los niveles especificados, a saber: Acrilamida = 0,05 %, dosificada a razón de 1 mg/l (o su equivalente); epiclorohidrina = 0,01 %, dosificada a razón de 20 mg/l (o su equivalente).
(*) Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el valor máximo aceptable (véanse guías OPS/OMS).
(**) Valores superiores pueden influir en la apariencia, el sabor, el olor o perjudicar otros usos del agua (véanse guías OPS/MS).
(***) La inclusión de estos parámetros, es concordante con lo señalado en las guías de la OMS-95, cifras obtenidas por redondeo, asignando el 10 % de la ingesta diaria tolerable IDT.

6.3 Requisitos para plaguicidas

Tabla 3 - Requisitos para plaguicidas

Características	Valor máximo aceptable	Observaciones
Plaguicidas totales (*) (**)	0,5 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Plaguicidas individuales (*) (**)	0,1 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud

NOTA

En caso de detectar un plaguicida que supere los valores establecidos, se debe proceder de acuerdo a la reglamentación correspondiente.

El valor límite “plaguicida individual”, se aplica y se debe comparar para cada compuesto definido como plaguicida, detectado y cuantificado individualmente.

El valor límite para “plaguicidas totales”, se aplica y se debe comparar a la suma aritmética de las concentraciones detectadas y cuantificadas individualmente, de todos los compuestos definidos para cada familia de plaguicidas

(*) Existen plaguicidas cuyos valores individuales y totales aceptables pueden ser superiores o inferiores a 0,1; en el caso, guiarse por las recomendaciones de la OMS y valores de la EPA, que están basados en la Ingesta diaria admisible - IDA del 1 % y la Ingesta diaria tolerable - IDT del 10 %
(**) De acuerdo a ATSDR, EPA y a la IARC algunos de estos compuestos son considerados carcinogénicos

6.4 Requisitos de radiactividad

Tabla 4 - Requisitos de radiactividad en el agua potable

Características	Valor máximo aceptable	Observaciones
Radiactividad alfa global	0,10 Bq/l	Si se sobrepasa el valor límite, es necesario un análisis más detallado de los radionúclidos
Radiactividad beta global	1,0 Bq/l	

6.5 Requisitos microbiológicos

Tabla 5 - Requisitos microbiológicos

Características	Valor máximo aceptable	Observaciones
Coliformes totales	0 UFC/100ml	Por filtro de membrana
	< 2 NMP/100 ml (*)	Por número más probable(NMP)
Escherichia coli	0 UFC/100ml	Por filtro de membrana
	< 2 NMP/100 ml (*)	Por número más probable(NMP)
Coliformes termo resistentes (**)	0 UFC/100 ml	
Pseudomona Aeruginosa (***)	0 UFC/100 ml	
Heterotróficas Totales (****)	500 UFC/100 ml	
Clostridium Perfringens (***)	0 UFC/100 ml	
Amebas (***)	ausencia	
Giardia (***) (****)	ausencia	
Cryptosporidium (***) (****)	ausencia	

(*) 95 % de las muestras, con la serie de cinco (5) tubos.
(**) El análisis de coliformes termoresistentes, solo se debe realizar cuando la concentración de cloro residual es ≤ 0,2 mg/l (denominados incorrectamente como coliformes fecales).
(***) Son organismos que resisten a la desinfección.
(****) Son organismos de alta persistencia en el agua.

NOTA

Se determina “ausencia” por no contar con una unidad representativa de medición.

6.6 Parámetros de control

Tabla 6 - Parámetros de control

Características	Valor máximo aceptable	Observaciones
Conductividad	1 500,0 μs/cm (**)	
Alcalinidad total (*)	370,0 mg/l $CaCO_3$ (**)	El mismo está relacionado con el pH

(*) Índice de Langelier - 0,5 a + 0,5 para sistemas con tubería metálica.
(**) Valores superiores pueden influir en la apariencia, el sabor, el olor o perjudicar otros usos del agua (véanse guías OPS/OMS)

7 MUESTREO

Se procederá de acuerdo a lo establecido en la norma NB 496.

8 MÉTODOS DE ENSAYO

Los métodos analíticos a ser aplicados para determinar los parámetros establecidos en esta norma, deben efectuarse de acuerdo a los Métodos Estándar de Análisis de Agua de Consumo y Aguas de Desecho, publicados por APHA, AWWA, WPCF, ASTM, ISO, DIN o en las normas bolivianas correspondientes.

9 BIBLIOGRAFÍA

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC NTC 813:94 Agua - Agua potable (Segunda revisión)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN - INN (CHILE) NCh 409/1. Of 84 Agua potable - Parte 1: Requisitos
- Compendio de Legislación Sanitaria, Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud.
- Consecuencias Sanitarias del Empleo de Plaguicidas en la Agricultura OMS - PNUMA, 1992.
- Drinking Water Standards and Health Advisories EPA 822-B-00-001 Office of Water 4304. U.S. Environmental Protection Agency, 2000.
- Estudio de la Relación Conductividad - Sólidos filtrables. Proyecto de Investigación, Instituto de Ingeniería Sanitaria - UMSA, 1987.
- Guías de Calidad e Agua para Consumo Humano. Organización Panamericana de Salud y Organización Mundial de la Salud, 1995.
- Guías para la Calidad del Agua Potable. Segunda Edición, Volumen 1: Recomendaciones OMS, 1995
- Guías para la Calidad del Agua Potable. Segunda Edición, Volumen 3: Vigilancia y Control de los Abastecimientos de Agua a la Comunidad, OMS, 1998.
- Guías para la Construcción y Mantenimiento de Suministro de Agua - Alumbramiento de Aguas - Segunda Edición, John Wiley & Sons Ltd, Inglaterra, 1995
- Guías y Valores Canadá. Agua Potable.
- Guías y Valores Comunidad Económica Europea CEE. Agua potable.
- Guías y Valores USA. Agua Potable.
- Guidelines for Drinking Water Quality - Volume 2: Health Criteria and Other Supporting Information WHO, 1996.
- Informe de estudios de campo, realizados por el Instituto de Ingeniería Sanitaria - UMSA y Aguas de Illimani S.A, Mayo, 2002.
- La Calidad del Agua Potable en América Latina - Ponderación de los Riesgos Microbiológicos contra los Riesgos de los Subproductos de la Desinfección Química. ILSI Argentina, OMS-OPS- 1996
- Ley y Reglamento del Medio Ambiente - Bolivia, 1995
- Ministerio de Comercio Exterior - Viceministerio de Inversión y Privatización, 1999.
- Ministerio de Salud Social de los Estados Unidos de Norteamérica - EUA, Servicio de Salud Publica - Agencia para el registro de enfermedades y sustancias toxicas- ATSDR.
- Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos - Programa de Control y Seguimiento de la Calidad del Agua (PCCA) - Bolivia, 1999
- Modificatoria del Reglamento Ambiental para el Sector Hidrocarburos - Decreto Supremo No 26171 - Bolivia, 2001
- National Primary Drinking Water Standards EPA 810-F-94-001 Office of Water 4606. U.S. Environmental Protection Agency - December, 1999.
- Normas de Calidad en la Prestación de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (Propuesta de Normas) - Informe Final de Consultora
- Normas Oficiales para la Calidad del Agua - Disposiciones de la Ley 18284 (Código Alimentario Argentino Sobre Aguas), 1994.
- Propuesta de CTR-CA/ANDESAPA para Homologar Normas de Calidad del Agua, Elaboradas por el Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana - CAPRE , 1994.
- Universidad Mayor de San Simón - Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental- Monitoreo de Aguas en la Región del Chapare - Bolivia, 1993
- Vigilancia al Control de la Calidad del Agua Potable en Bolivia en el Marco del Programa SIRESE - Resumen Ejecutivo del Informe Final TYPSA, 2003.

IBNORCA creado por Decreto Supremo N 23489 de fecha 1993-04-29 y ratificado como parte componente del Sistema Boliviano de la Calidad (SNMAC) por Decreto Supremo N 24498 de fecha 1997-02-17, es la Organización Nacional de Normalización responsable del estudio y la elaboración de Normas Bolivianas.

Representa a Bolivia ante los organismos Subregionales, Regionales e Internacionales de Normalización, siendo actualmente miembro activo del Comité Andino de Normalización CAN, del Comité Mercosur de Normalización CMN, miembro pleno de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas COPANT , miembro de la International Electrotechnical Commission IEC y miembro correspondiente de la International Organization for Standardization ISO.

Revisión

Esta norma está sujeta a ser revisada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

Características de aplicación de Normas Bolivianas

Como las normas técnicas se constituyen en instrumentos de ordenamiento tecnológico, orientadas a aplicar criterios de calidad, su utilización es un compromiso conciencial y de responsabilidad del sector productivo y de exigencia del sector consumidor.

Información sobre Normas Técnicas

IBNORCA, cuenta con un Centro de Información y Documentación que pone a disposición de los interesados Normas Internacionales, Regionales, Nacionales y de otros países.

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

Av. Busch Nº 1196 - Casilla 5034 - Teléfonos: (591-2) 2223777 - 2223666 - Fax (591-2) 2223410
info@ibnorca.org - La Paz - Bolivia

Formato Normalizado A4 (210 mm. x 297 mm.) Conforme a Norma Boliviana NB 723001 (NB 029)

NORMA BOLIVIANA

NB 512

ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

MMAyA
Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Agua Potable Requisitos

IBNORCA

Cuarta Revisión
ICS 13.060.20
Agua Potable
Diciembre 2010

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA
VICEMINISTERIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO

Calle Capitán Castrillo Nº 434
entre Av. 20 de Octubre y
calle Héroes del Acre
Teléfono: (591-2) 2115571
Fax: (591-2) 2116124

DERECHOS RESERVADOS
Documento del Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Se autoriza la reproducción parcial o total, haciendo referencia a la fuente.

CUARTA REVISION
Comité Técnico Normalizador Nº 3.1 “Agua Potable” – IBNORCA

RE- EDICIÓN E IMPRESIÓN:
Arteria Producciones
Telf: 2490396 – Cel. 79109869 – 72518411
c. Boquerón 1512 – San Pedro
www.arteriaproducciones.com

La Paz, Bolivia
Diciembre, 2010

Norma Boliviana NB 512

Agua potable - Requisitos

Cuarta revisión

ICS 13.060.20 Agua potable

Octubre 2010

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

IBNORCA

Prefacio

La revisión y actualización de la Norma Boliviana **NB 512-2010 "Agua potable - Requisitos (Cuarta revisión)"**, ha sido encomendada al Comité Técnico Normalizador N° 3.1 "Agua potable", integrado por las siguientes instituciones y personas:

REPRESENTANTE	**INSTITUCIÓN**
Roger Yugar Yugar	MMA y A / VAPSB (Coordinador)
Ronny Vega	ANESAPA
Edwin Astorga Sanjines	IIS y A - UMSA
Gualberto Gutiérrez Valdivia	FNI – UTO
Danna Lara	OPS/OMS
Edgar Paniagua	AAPS
Jorge Chávez	AAPS
Jose Luís Castagne	ABIS
Jorge Guerrero	INLASA
Magnolia Fuentes Antezana	EMAGUA
Pedro Medina	MINISTERIO DE SALUD Y DEPORTES
Mario Villagra	MINISTERIO DE SALUD Y DEPORTES
Orlando Quispe	EPSAS
Yoshinori Fukushima	JICA – ASVI
Luís Lara	HANNA BOLIVIA
Verónica Salazar I.	IBNORCA

Fecha de aprobación por el Comité Técnico 2010-09-30

Fecha de aprobación por el Consejo Rector de Normalización 2010-10-28

Fecha de ratificación por la Directiva de IBNORCA 2010-10-29

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº Nº 104

La Paz 11 DIC 2007

CONSIDERANDO:

Que, el literal e) del Artículo 3º de la Ley Nº 3351, de 2 de febrero de 2006, Ley de Organización del Poder Ejecutivo, establece como atribución general de los Ministros: "Dictar normas relativas al ámbito de su competencia y resolver en última instancia, todo asunto administrativo que corresponda al Ministerio".

Que, el literal c) del Artículo 4º de la Ley Nº 3351 Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de 21 de febrero de 2006, establece que es atribución específica del Ministro del Agua, plantear y ejecutar, evaluar y fiscalizar las políticas y planes de servicio de agua potable y saneamiento básico, riego y manejo de cuencas, aguas internacionales y transfronterizas.

Que el Artículo 61 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, establece que en la estructura del Ministerio del Agua, es la siguiente: Viceministerio de Servicios Básicos, Viceministerio de Riego y Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos.

Los literales d) y e) del Artículo 63 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, dispone que son funciones del Viceministro de Servicios Básicos, entre otras, las siguientes: d) Promover normas técnicas, disposiciones reglamentarias e instructivos para el buen aprovechamiento y regulación de los servicios básicos y proponer por conducto regular proyectos de leyes y otras disposiciones para el sector; e) Difundir y vigilar la aplicación de políticas, planes, proyectos y normas técnicas para el establecimiento y operación de los servicios básicos, ejerciendo tuición sobre la Superintendencia de Saneamiento Básico.

Que, el objetivo fundamental de la Norma y sus Reglamentos Técnicos es estandarizar el diseño y optimizar costos de inversión para permitir el acceso a los servicios de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales a un mayor número de personas, priorizando sectores sociales de menores ingresos económicos.

Que, la Norma y sus Reglamentos Técnicos recogen en la presente versión experiencias de la práctica moderna de la ingeniería sanitaria y de la utilización de tecnologías alternativas en el país, transmitida y consensuada mediante un proceso de amplia participación y consulta con profesionales del país.

Que, es necesaria la edición, reimpresión y difusión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, para permitir su aplicación por parte de los profesionales del sector con carácter obligatorio en el ámbito urbano y rural del país.

MINISTERIO DEL AGUA V°B° C.E.S. D.G.A.J.

MINISTERIO DEL AGUA V°B° C.G.T. D.G.A.J.

Calle Capitán Castrillo Nº 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

Que, de acuerdo a los Informes VSB/UNI 016/2007 y VSB/UNI – 21/07, la Unidad de Normas e Institucionalidad, del Viceministerio de Servicios Básicos del Ministerio del Agua, recomienda la edición e impresión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, solicitando dar curso a la aprobación de la norma precitada así como a sus reglamentos.

POR TANTO:

El Ministro del Agua, en aplicación de sus atribuciones conferidas por ley.

RESUELVE:

Artículo 1º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "A".

Artículo 2º.- Aprobar los Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable, en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "B"

Artículo 3º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "C".

Artículo 4º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "D".

Artículo 5º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras", que forman parte de la presente Resolución como Anexo "E".

Artículo 5º.- Aprobar el Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, que forman parte integrante de la presente Resolución como Anexo "F".

Artículo 6º.- La Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, aprobadas mediante la presente Resolución Ministerial, deberán ser obligatoriamente aplicadas en todo el territorio nacional, por instituciones y profesionales del sector, en el diseño de sistemas de agua potable.

Artículo 7º.- Se autoriza al Viceministerio de Servicios Básicos para que en coordinación con la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua proceda a la edición, reimpresión, difusión y distribución en forma gratuita de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, a Municipios, Entidades e Instituciones públicas y privadas, bibliotecas universitarias, sociedades de profesionales, programas y proyectos del sector y otros priorizados por el Viceministerio de Servicios Básicos.

Artículo 8º.- El Viceministerio de Servicios Básicos y la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 9º.- Se abroga la Resolución Ministerial Nº 230/2004, de 07 de septiembre de 2004, emitida por el Ministerio de Servicios y Obras Publicas. Quedan abrogadas y derogadas todas las resoluciones contrarias a la presente Resolución Ministerial.

Regístrese, comuníquese, cúmplase y archívese.

Alcides Franco Tortico
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS M.A.
MINISTERIO DEL AGUA

Walter Valda Rivera
MINISTRO DEL AGUA

Calle Capitán Castrillo Nº 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

PRESENTACION

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua, a través del Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, en el marco de sus competencias normativas, pone a disposición de profesionales y técnicos del sector agua y saneamiento, la presente “Norma de Agua Potable Requisitos” NB 512, en su cuarta revisión.

Esta norma tiene por objeto velar por la salud de la población, estableciendo parámetros aceptables de calidad del agua para consumo humano, los mismos deben ser conocidos y aplicados por las EPSA en todo el Estado Boliviano.

La elaboración del presente documento fue posible gracias a la participación de profesionales e instituciones del sector, que de manera desinteresada aportaron con su conocimiento para que nuestro país cuente con este importante instrumento normativo.

Agua Potable - Requisitos

INDICE Página

0 INTRODUCCIÓN 11

1 OBJETO 11

2 CAMPO DE APLICACIÓN 11

3 REFERENCIAS 11

4 DEFINICIONES 12

5 REQUISITOS 13

6 MUESTREO 17

7 MÉTODOS DE ENSAYO 17

8 BIBLIOGRAFIA 17

Agua potable - Requisitos

0 INTRODUCCIÓN

La calidad del agua con destino al consumo humano tiene implicaciones importantes sobre los aspectos sociales y económicos que actúan indirectamente sobre el desarrollo de un país. Caracterizar la calidad del agua a través de la definición de los valores máximos aceptables de los parámetros organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es fundamental para proteger la salud pública.

La estructura de la norma toma en consideración la importancia sanitaria de los parámetros a analizar, la calidad y la sensibilidad de las fuentes utilizadas para la producción de agua para consumo humano.

Los objetivos de esta norma son:

a) Proteger la salud de la población, definiendo y determinando parámetros de calidad del agua, con sus respectivos niveles, basados en principios de gestión de riesgo, con la finalidad de brindar agua apta para consumo humano.
b) Ser factibles en el contexto del país, tomando en cuenta la capacidad analítica de los laboratorios y las condiciones técnico-económicas de las entidades prestadoras de servicios de agua y alcantarillado - EPSA.
c) Establecer parámetros para el control y vigilancia de la calidad del agua de consumo humano, de acuerdo con la realidad nacional, sin que ello implique poner en riesgo la salud humana.

1. OBJETO

Esta norma establece los valores máximos aceptables de los diferentes parámetros, que determinan la calidad de agua abastecida con destino al uso y consumo humano y las modalidades de aplicación y control.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma se aplica a todas las aguas abastecidas con destino al uso y consumo humano.

3. REFERENCIAS

Los siguientes documentos normativos contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen disposiciones válidas para esta norma. Como normas, están sujetas a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas citadas a continuación:

NB 495* Agua potable - Definiciones y terminología
NB 496* Agua potable - Toma de muestras

*** NOTA**

Se aclara y se recomienda que en numerales donde existe diferencia, prevalece lo citado en la normativa más recientemente actualizada.

4. DEFINICIONES

4.1 Agua potable

Aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en la presente norma.

4.2 Características microbiológicas

Aquellas debidas a la presencia de bacterias y otros microorganismos nocivos a la salud humana.

4.3 Características organolépticas

Aquellas que se detectan sensorialmente (sabor, color y olor) y que influyen en la aceptabilidad del agua

4.4 Características químicas

Aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos, que en concentraciones mayores a lo establecido en la norma, pueden causar efectos nocivos a la salud.

4.5 Características físicas

Aquellas que miden las propiedades que influyen en la calidad del agua: Color, turbiedad, sólidos totales y sólidos totales disueltos; resultantes de la presencia de un número de constituyentes físicos.

4.6 Características radiactivas

Aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.

4.7 Plaguicidas

Término genérico que incluye todos los compuestos que forman parte de las siguientes familias de compuestos orgánicos: Insecticidas, herbicidas, funguicidas, acaricidas, nematocidas y alguicidas; los productos derivados y sus metabolitos; productos de degradación y de reacción de los mismos.

4.8 Valor máximo aceptable

Aquel valor establecido para los diferentes parámetros, el cual no debe ser excedido.

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos físicos y organolépticos

Tabla 1 - Requisitos físicos y organolépticos

Características	*Valor máximo aceptable*	Observaciones
Color (**)	15 UCV	UCV = Unidad de color verdadero (y no presentar variaciones anormales) – UCV en unidades de platino cobalto
Sabor y olor (*)	------	Deben ser aceptables
Turbiedad (**)	5 UNT	UNT = unidades nefelométricas de turbiedad
Sólidos disueltos totales (**)	1 000 mg/l (***)	Valor superior influye en la aceptabilidad

(*) Para efectos de evaluación, el sabor y el olor se determinan por medio de los sentidos.
(**) Para efectos de evaluación, el color, la turbiedad y los sólidos totales disueltos, se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.
(***) Valores superiores pueden influir en la apariencia, el sabor, el olor o perjudicar otros usos del agua (véanse guías OPS/OMS)

NOTA
El parámetro temperatura, se debe medir en el punto de muestreo y en laboratorio a tiempo de realizar los análisis. Sirve como referencia para los análisis microbiológicos y para el cálculo del Índice de Langelier.

5.2 Requisitos químicos

Tabla 2 - Requisitos químicos

Características		Valor máximo aceptable	Observaciones
Dureza total		500,0 mg/l $CaCO_3$	
pH(1)		9,0	Límite inferior 6,5
Compuestos inorgánicos:			
Aluminio	Al	0,1 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Arsénico	As	0,01 mg/l(*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Amoniaco	NH_4^+	0,5 mg/l (**)	Valor mayor influye en la aceptabilidad, por el olor y el sabor
Antimonio	Sb	0,005 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Bario	Ba	0,7 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Boro	B	0,3 mg/l (**)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Cadmio	Cd	0,005 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Calcio	Ca	200,0 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Cianuro	CN^-	0,07 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud

Cloruros	Cl^-	250,0 mg/l (*)	Valor mayor origina corrosión que se refleja en la aceptabilidad por el sabor.
Cobre	Cu	1,0 mg/l (**)	Valor mayor influye en la aceptabilidad por el olor y el sabor.
Cromo total	Cr	0,05 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Fluoruro	F^-	1,5 mg/l (**)	Deberá tenerse en cuenta la adaptación climática del lugar
Hierro total	Fe	0,3 mg/l (**)	Valor mayor influye en la aceptabilidad por el color
Magnesio	Mg	150,0 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Manganeso	Mn	0,1 mg/l (**)	Valor mayor influye en la aceptabilidad por el sabor.
Mercurio	Hg	0,001 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Níquel	Ni	0,05 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Nitritos (2)	NO_2^-	0,1 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Nitratos (2)	NO_3^-	45,0 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Plomo	Pb	0,01 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Selenio	Se	0,01 mg/l (*)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Sodio	Na	200,0 mg/l (**)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Sulfatos	$SO_4^=$	400,0 mg/l (**)	
Zinc	Zn	5,0 mg/l (**)	
Compuestos orgánicos:			
Acrilamida (3)		0,5 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Benceno		2,0 μg/l (***)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Benzo[a]pireno		0,2 μg/l (***)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Cloroformo		100,0 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Cloruro de vinilo		2,0 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Epiclorohidrina (3)		0,4 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Etilbenzeno		300,0 μg/l (*) (**) (***)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Fenol		2,0 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud

THM (trihalometanos totales)	100,0 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
TPH (hidrocarburos totales)	10,0 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Tolueno	700,0 μg/l (*) (**) (***)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Xileno	500,0 μg/l (*) (**) (***)	Valor mayor tiene efecto sobre la salud

(1) Adoptar con respecto al equilibrio calcio-carbónico, corresponde a un parámetro físico-químico. No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH. Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua.

(2) La condición según la cual $(NO_3\text{-}/45) + (NO_2\text{-}/0,1) < 1$.

(3) Todos y cada uno de los sistemas de agua, deben declarar por escrito al Estado, que si usan acrilamida y/o epiclorohidrina para tratar el agua, la combinación (o producto) de dosis y cantidad del monómero, no superará los niveles especificados, a saber: Acrilamida = 0,05 %, dosificada a razón de 1 mg/l (o su equivalente); epiclorohidrina = 0,01 %, dosificada a razón de 20 mg/l (o su equivalente). En caso de utilización de otro polímero, declarar las especificaciones (valores).

(*) Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el valor máximo aceptable (véanse guías OPS/OMS).
(**) Valores superiores pueden influir en la apariencia, el sabor, el olor o perjudicar otros usos del agua (véanse guías OPS/MS).
(***) La inclusión de estos parámetros, es concordante con lo señalado en las guías de la OMS-95, cifras obtenidas por redondeo, asignando el 10 % de la ingesta diaria tolerable IDT.

5.3 Requisitos de desinfección

Tabla 3 - Parámetros de desinfección

Características	Valor máximo aceptable	Observaciones
Cloro residual	1,0 mg/l Valor aceptable en el punto terminal de la red	Límite inferior 0,2 mg/l, en un punto terminal de la red
NOTA El uso de cualquier desinfectante diferente a un generador de cloro activo debe ser autorizado por la autoridad competente, la cual además debe establecer la concentración mínima, la concentración máxima, la tolerancia, los controles y el método de determinación de un desinfectante activo residual en la red, así como la toma de muestreo.		

5.4 Requisitos para plaguicidas

Tabla 4 - Requisitos para plaguicidas

Características	Valor máximo aceptable	Observaciones
Plaguicidas totales	0,5 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Plaguicida individual	0,1 μg/l	Valor mayor tiene efecto sobre la salud

NOTA

En caso de detectar un plaguicida que supere los valores establecidos, se debe proceder de acuerdo a la reglamentación correspondiente.

El valor límite para ”plaguicida individual”, se aplica y se debe comparar para cada compuesto definido como plaguicida, detectado y cuantificado individualmente.

El valor límite para “plaguicidas totales”, se aplica y se debe comparar a la suma aritmética de las concentraciones detectadas y cuantificadas individualmente, de todos los compuestos definidos para cada familia de plaguicidas.

(*) Existen plaguicidas cuyos valores individuales y totales aceptables pueden ser superiores o inferiores a 0.1; en el caso guiarse por las recomendaciones de la OMS y valores de la EPA, que están basados en la Ingesta Diaria Admisible – IDA de 1% y la Ingesta Diaria Tolerable – IDT de 10%.

(**) De acuerdo a ATSDR, EPA y a la IARC algunos de estos compuestos son considerados carcinogénicos.

5.5 Requisitos de radiactividad

Tabla 5 - Requisitos de radiactividad en el agua potable

Características	Valor máximo aceptable	Observaciones
Radioactividad alfa global	0,10 Bq/l	Si se sobrepasa el valor límite, es necesario un análisis más detallado de los radionúclidos
Radioactividad beta global	1,0 Bq/l	

5.6 Requisitos microbiológicos

Tabla 6 - Requisitos microbiológicos

Parámetros	Valor máximo aceptable	Método de ensayo	Norma técnica/ Observaciones
Coliformes totales	<1 UFC/100 ml	Membrana filtrante	NB 31003
Coniformes termoresistentes (**)	<1 UFC/100 ml	Membrana filtrante	NB 31004
Escherichia coli	<1 UFC/100 ml	Membrana filtrante	NB 31005
Coliformes totales (*)	<2 NMP/100 ml	Número más probable NMP/ serie de 5 tubos	NB 31006
Coliformes termoresistentes	<2 NMP/100 ml	Número más probable NMP/ serie de 5 tubos	NB 31006
Escherichia coli (*)	<2 NMP/100 ml	Número más probable NMP/ serie de 5 tubos	NB 31006
Pseudonomas aeruginosa (***)	<1 UFC/100 ml	Membrana filtrante	-
Clostridium Perfringens (***)	<1 UFC/100 ml	Membrana filtrante	-
Heterotróficas (****)	$5x10^2$ UFC/ml	Recuento en placa	NB 31007
Amebas (***)	Ausencia	-	-
Giardia (***) (****)	Ausencia	-	-
Criptosporidium (***) (****)	Ausencia	-	-

(*) 95 % de las muestras, con la serie de cinco (5) tubos.
(**) El análisis de coliformes termorresistentes, solo se debe realizar cuando la concentración de cloro residual es ≤ 0,2 mg/l (denominados incorrectamente como coliformes fecales).
(***) Son organismos que resisten a la desinfección.
(****) Son organismos de alta persistencia en el agua.

NOTA
Se determina “ausencia” por no contar con una unidad representativa de medición.
<1 UFC/100 ml = ausencia del parámetro en la muestra analizada.

5.7 Parámetros de control

Tabla 7 - Parámetros de control

Características	Valor máximo aceptable	Observaciones
Conductividad	1500,0 μs/cm (**)	
Alcalinidad total (*)	370,0 mg/l $CaCO_3$ (**)	El mismo está relacionado con el pH

(*) Índice de Langelier - 0,5 a + 0,5 para sistemas con tubería metálica.
(**) Valores superiores pueden influir en la apariencia, el sabor, el olor o perjudicar otros usos del agua (véanse guías OPS/OMS**)**

6 MUESTREO

Se procederá de acuerdo a lo establecido en la norma NB 496.

NOTA
Aclarando que donde existe diferencia, prevalece lo citado en la normativa más recientemente actualizada.

7 MÉTODOS DE ENSAYO

Los métodos analíticos a ser aplicados para determinar los parámetros establecidos en esta norma, deben efectuarse de acuerdo a los Métodos Estándar de Análisis de Agua de Consumo y Aguas de Desecho, publicados por APHA, AWWA, WPCF, ASTM, ISO, DIN o en las normas bolivianas correspondientes.

8 BIBLIOGRAFÍA

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN – ICONTEC NTC 813:94 Agua - Agua potable (Segunda revisión)
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN - INN (CHILE) NCh 409/1. Of 84 Agua potable - Parte 1: Requisitos
- Compendio de Legislación Sanitaria, Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud.
- Consecuencias Sanitarias del Empleo de Plaguicidas en la Agricultura OMS - PNUMA, 1992.
- Drinking Water Standards and Health Advisories EPA 822-B-00-001 Office of Water 4304. U.S. Environmental Protection Agency, 2000.
- Estudio de la Relación Conductividad - Sólidos filtrables. Proyecto de Investigación, Instituto de Ingeniería Sanitaria - UMSA, 1987.
- Guías de Calidad e Agua para Consumo Humano. Organización Panamericana de Salud y Organización Mundial de la Salud, 1995.
- Guías para la Calidad del Agua Potable. Segunda Edición, Volumen 1: Recomendaciones OMS, 1995
- Guías para la Calidad del Agua Potable. Segunda Edición, Volumen 3: Vigilancia y Control de los Abastecimientos de Agua a la Comunidad, OMS, 1998.
- Guías para la Construcción y Mantenimiento de Suministro de Agua - Alumbramiento de Aguas - Segunda Edición, John Wiley & Sons Ltd, Inglaterra, 1995

- Guías y Valores Canadá. Agua Potable.
- Guías y Valores Comunidad Económica Europea CEE. Agua potable.
- Guías y Valores USA. Agua Potable.
- Guidelines for Drinking Water Quality - Volume 2: Health Criteria and Other Supporting Information WHO, 1996.
- Informe de estudios de campo, realizados por el Instituto de Ingeniería Sanitaria - UMSA y Aguas de Illimani S.A, Mayo, 2002.
- La Calidad del Agua Potable en América Latina - Ponderación de los Riesgos Microbiológicos contra los Riesgos de los Subproductos de la Desinfección Química. ILSI Argentina, OMS-OPS- 1996
- Ley y Reglamento del Medio Ambiente - Bolivia, 1995
- Ministerio de Comercio Exterior - Viceministerio de Inversión y Privatización, 1999.
- Ministerio de Salud Social de los Estados Unidos de Norteamérica - EUA, Servicio de Salud Publica - Agencia para el registro de enfermedades y sustancias toxicas- ATSDR.
- Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos - Programa de Control y Seguimiento de la Calidad del Agua (PCCA) - Bolivia, 1999
- Modificatoria del Reglamento Ambiental para el Sector Hidrocarburos - Decreto Supremo No 26171 - Bolivia, 2001
- National Primary Drinking Water Standards EPA 810-F-94-001 Office of Water 4606. U.S. Environmental Protection Agency - December, 1999.
- Normas de Calidad en la Prestación de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (Propuesta de Normas) - Informe Final de Consultora
- Normas Oficiales para la Calidad del Agua - Disposiciones de la Ley 18284 (Código Alimentario Argentino Sobre Aguas), 1994.
- Propuesta de CTR-CA/ANDESAPA para Homologar Normas de Calidad del Agua, Elaboradas por el Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana - CAPRE , 1994.
- Universidad Mayor de San Simón - Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental- Monitoreo de Aguas en la Región del Chapare - Bolivia, 1993
- Vigilancia al Control de la Calidad del Agua Potable en Bolivia en el Marco del Programa SIRESE - Resumen Ejecutivo del Informe Final TYPSA, 2003.
- Guías para la Calidad del Agua Potable. Primer apéndice a la tercera edición – Volumen 1: Recomendaciones OMS, 2006

AGRADECIMIENTO

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua, a través del Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, expresa su reconocimiento a todos los profesionales e instituciones del sector por haber aportado con su amplio conocimiento en forma desinteresada.

La presente edición 2010, fue posible a la gentileza y apoyo financiero de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA - ASVI).

NB 512
2010

IBNORCA: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

IBNORCA creado por Decreto Supremo N 23489 de fecha 1993-04-29 y ratificado como parte componente del Sistema Boliviano de la Calidad (SNMAC) por Decreto Supremo N 24498 de fecha 1997-02-17, es la Organización Nacional de Normalización responsable del estudio y la elaboración de Normas Bolivianas.

Representa a Bolivia ante los organismos Subregionales, Regionales e Internacionales de Normalización, siendo actualmente miembro activo del Comité Andino de Normalización CAN, del Comité Mercosur de Normalización CMN, miembro pleno de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas COPANT , miembro de la International Electrotechnical Commission IEC y miembro correspondiente de la International Organization for Standardization ISO.

Revisión

Esta norma está sujeta a ser revisada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

Características de aplicación de Normas Bolivianas

Como las normas técnicas se constituyen en instrumentos de ordenamiento tecnológico, orientadas a aplicar criterios de calidad, su utilización es un compromiso conciencial y de responsabilidad del sector productivo y de exigencia del sector consumidor.

Información sobre Normas Técnicas

IBNORCA, cuenta con un Centro de Información y Documentación que pone a disposición de los interesados Normas Internacionales, Regionales, Nacionales y de otros países.

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

Derechos de Autor
Resolución
217/94
Depósito Legal
N° 4-3-493-94

Derecho de Autor • Resolución 217/94 • Depósito Legal Nº 4 - 3 - 493-94

Av. Busch N° 1196 - Casilla 5034 - Teléfonos: (591-2) 2223777 - 2223666 - Fax (591-2) 2223410
info@ibnorca.org - La Paz - Bolivia

Formato Normalizado A4 (210 mm x 297 mm) Conforme a Norma Boliviana NB 723001 (NB 029)

Reglamento Nacional NB 512

REPÚBLICA DE BOLIVIA

MINISTERIO DEL AGUA
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano

Primera Revisión
Noviembre 2005

Reglamento Nacional NB 512

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano

Primera Revisión

Noviembre 2005

PREFACIO

El presente “Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”, en su primera versión, fue elaborado por el Viceministerio de Servicios Básicos, bajo la coordinación del Ing. Alcides Franco, Ex Director de Area de Normas y Tecnología (DANT).

La revisión ha sido encomendada al Comité Técnico Normalizador No. 3.1 “Agua Potable” integrado por los siguientes representantes de instituciones:

Reynaldo Villalba	**Viceministerio de Servicios Básicos**
	Director de Normas y Tecnología
Edwin Laruta	**Viceministerio de Servicios Básicos**
Enrique Torrico	**Viceministerio de Servicios Básicos**
Susana Jaramillo	**Viceministerio de Servicios Básicos**
Alcides Franco	**SISAB**
Carlos Gamez	**SISAB**
Jorge Flores	**SISAB**
Carlos España	**Universidad Mayor de San Andrés**
Ronny Vega	**ANESAPA**
Evel Alvarez	**AISA**
Rodolfo Garcia	**AISA**
Gonzalo Dalence	**IBNORCA**

La elaboración del presente Reglamento, estuvo a cargo de los siguientes consultores:

Olver Coronado	**Consultor**
Marcial Berdeja	**Consultor**
Jannette Estrada	**Consultora**

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº Nº 104

La Paz 11 DIC 2007

CONSIDERANDO:

Que, el literal e) del Artículo 3º de la Ley Nº 3351, de 2 de febrero de 2006, Ley de Organización del Poder Ejecutivo, establece como atribución general de los Ministros: "Dictar normas relativas al ámbito de su competencia y resolver en última instancia, todo asunto administrativo que corresponda al Ministerio".

Que, el literal c) del Artículo 4º de la Ley Nº 3351 Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de 21 de febrero de 2006, establece que es atribución específica del Ministro del Agua, plantear y ejecutar, evaluar y fiscalizar las políticas y planes de servicio de agua potable y saneamiento básico, riego y manejo de cuencas, aguas internacionales y transfronterizas.

Que el Artículo 61 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, establece que en la estructura del Ministerio del Agua, es la siguiente: Viceministerio de Servicios Básicos, Viceministerio de Riego y Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos.

Los literales d) y e) del Artículo 63 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, dispone que son funciones del Viceministro de Servicios Básicos, entre otras, las siguientes: d) Promover normas técnicas, disposiciones reglamentarias e instructivos para el buen aprovechamiento y regulación de los servicios básicos y proponer por conducto regular proyectos de leyes y otras disposiciones para el sector; e) Difundir y vigilar la aplicación de políticas, planes, proyectos y normas técnicas para el establecimiento y operación de los servicios básicos, ejerciendo tuición sobre la Superintendencia de Saneamiento Básico.

Que, el objetivo fundamental de la Norma y sus Reglamentos Técnicos es estandarizar el diseño y optimizar costos de inversión para permitir el acceso a los servicios de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales a un mayor número de personas, priorizando sectores sociales de menores ingresos económicos.

Que, la Norma y sus Reglamentos Técnicos recogen en la presente versión experiencias de la práctica moderna de la ingeniería sanitaria y de la utilización de tecnologías alternativas en el país, transmitida y consensuada mediante un proceso de amplia participación y consulta con profesionales del país.

Que, es necesaria la edición, reimpresión y difusión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, para permitir su aplicación por parte de los profesionales del sector con carácter obligatorio en el ámbito urbano y rural del país.

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

Que, de acuerdo a los Informes VSB/UNI 016/2007 y VSB/UNI – 21/07, la Unidad de Normas e Institucionalidad, del Viceministerio de Servicios Básicos del Ministerio del Agua, recomienda la edición e impresión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, solicitando dar curso a la aprobación de la norma precitada así como a sus reglamentos.

POR TANTO:

El Ministro del Agua, en aplicación de sus atribuciones conferidas por ley.

RESUELVE:

Artículo 1º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "A".

Artículo 2º.- Aprobar los Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable, en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "B"

Artículo 3º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "C".

Artículo 4º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "D".

Artículo 5º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras", que forman parte de la presente Resolución como Anexo "E".

Artículo 5º.- Aprobar el Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, que forman parte integrante de la presente Resolución como Anexo "F".

Artículo 6º.- La Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, aprobadas mediante la presente Resolución Ministerial, deberán ser obligatoriamente aplicadas en todo el territorio nacional, por instituciones y profesionales del sector, en el diseño de sistemas de agua potable.

Artículo 7º.- Se autoriza al Viceministerio de Servicios Básicos para que en coordinación con la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua proceda a la edición, reimpresión, difusión y distribución en forma gratuita de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, a Municipios, Entidades e Instituciones públicas y privadas, bibliotecas universitarias, sociedades de profesionales, programas y proyectos del sector y otros priorizados por el Viceministerio de Servicios Básicos.

Artículo 8º.- El Viceministerio de Servicios Básicos y la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 9º.- Se abroga la Resolución Ministerial Nº 230/2004, de 07 de septiembre de 2004, emitida por el Ministerio de Servicios y Obras Publicas. Quedan abrogadas y derogadas todas las resoluciones contrarias a la presente Resolución Ministerial.

Regístrese, comuníquese, cúmplase y archívese.

Alcides Franco Torrico
VICEMINISTRO DE SERVICIOS BASICOS E.I.
MINISTERIO DEL AGUA

Walter Valda Rivera
MINISTRO DEL AGUA

Calle Capitán Castrillo Nº 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

PRESENTACION

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas a través del Viceministerio de Servicios Básicos en aplicación de las atribuciones y obligaciones establecidas por Ley, con el objetivo de disponer de un instrumento normativo, pone a disposición de profesionales e instituciones del sector el presente Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, en su primera revisión.

Este documento tiene por objeto reglamentar la Norma Boliviana NB 512" Agua Potable Requisitos" (tercera revisión) – Octubre 2004, en cuanto se refiere a la calidad física, química y microbiológica del agua destinada al consumo humano, estableciendo las condiciones que deben cumplir las Entidades Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (EPSA).

En el presente Reglamento se han incluido los parámetros de control de calidad del agua potable agrupados de acuerdo a su factibilidad técnica y económica, a saber: Control Mínimo, Control Básico, Control Complementario y Control Especial. Asimismo se incluye, número mínimo de muestras al mes, número mínimo de puntos de muestreo, su ubicación y frecuencias de muestreo.

El presente documento fue posible gracias a la participación de profesionales del sector e instituciones que de manera desinteresada contribuyeron para que nuestro país cuente con un valioso instrumento técnico.

REGLAMENTO NACIONAL PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO - NB 512

INDICE

Página

CAPITULO I DISPOSICIONES GENERALES 7
CAPITULO II MARCO INSTITUCIONAL 12
CAPITULO III DEL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO 14
CAPITULO IV DE LAS EXCEPCIONES 25

ANEXOS 1

PLANILLAS DE REGISTRO DE INFORMACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA

PLANILLA N°1 HOJA DE IDENTIFICACIÓN 29
PLANILLA N°2 REGISTRO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA Y EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO 30
PLANILLA N°3 CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN 31
PLANILLA N°4 CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO 32
PLANILLA N°5 CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN 33

ANEXO 2

EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL REGLAMENTO NACIONAL PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

BIBLIOGRAFÍA 56

CAPÍTULO I
DISPOSICIONES GENERALES

1.- OBJETO. Reglamentar la Norma Boliviana NB 512 Agua Potable – Requisitos, en cuanto se refiere a la calidad física, química, microbiológica, organoléptica y radiactiva del agua destinada al consumo humano, estableciendo las condiciones que deben cumplir las Entidades Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (EPSA) a nivel nacional.

2.- CAMPO DE APLICACIÓN. Están sometidas al presente Reglamento Nacional las EPSA cualquiera sea su forma de constitución (municipal, sociedad anónima mixta, privada, cooperativa, asociación civil, pueblos indígenas y originarios y comités de agua) encargadas de prestar servicios de agua potable y alcantarillado sanitario. Asimismo, las instituciones públicas y privadas que realizan actividades de control y vigilancia de la calidad del agua a nivel nacional.

3.- DEFINICIONES. Para la aplicación del presente Reglamento, se establecen las siguientes definiciones:

3.1 Agua potable

Aquella que por sus características organolépticas, físico-químicas, microbiológicas y radiactivas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en la NB 512 y el presente Reglamento.

3.2 Conexión domiciliaria de agua

Conjunto de tuberías y accesorios que permiten la conducción del agua desde la red de distribución hasta el límite de propiedad del beneficiario.

3.3 Fuentes de abastecimiento de agua

Depósitos o cursos naturales de agua, superficiales o subterráneos.

3.4 Índice de Langelier

Es la diferencia entre el pH real (medido) de un agua y el pH hipotético si el agua estuviera en equilibrio con carbonato de calcio sólido.

3.5 Insumos químicos

Productos químicos utilizados en el tratamiento y desinfección del agua.

3.6 Laboratorio acreditado por el OBA

Centro o lugar donde se realizan los análisis fisicoquímicos y microbiológicos con procedimientos normalizados aceptados y que cuente con certificación de “Buenas Prácticas de Laboratorio” otorgada por el OBA.

3.7 Medida temporal

Dictamen otorgado por autoridad competente y en coordinación con los sectores involucrados, por un período de tiempo (máximo 6 meses), sin que ello signifique peligro para la salud de los consumidores, previa constatación que el deterioro de la calidad del agua, es producto de una situación de fuerza mayor.

3.8 Parámetro

Nombre del elemento o variable a medirse mediante un procedimiento analítico de laboratorio, variable a medirse mediante un procedimiento analítico de laboratorio de uno o varios elementos.

3.9 Planta de tratamiento de agua

Conjunto de obras civiles, instalaciones y equipos convenientemente dispuestos para llevar a cabo procesos y operaciones unitarias que permitan obtener agua de calidad apta para consumo y uso humano. Se denomina también planta potabilizadora de agua.

3.10 Punto de muestreo

Lugar físico de donde se extrae una muestra representativa.

3.11 Red de distribución

Conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten la entrega del agua a los consumidores.

3.12 Riesgo en salud

Probabilidad de ocasionar daño a la salud de los consumidores, debido a una operación defectuosa o contaminación en el sistema de abastecimiento de agua.

3.13 Sistema de agua potable

Es un conjunto de estructuras, equipos, accesorios e instalaciones que tienen por objeto transformar la calidad del agua y transportarla desde la fuente de abastecimiento hasta los puntos de consumo., en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión.

3.14 Tanque de almacenamiento

Depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución, destinado a almacenar agua y/o mantener presiones adecuadas en la red de distribución.

3.15 Usuario (consumidor)

Toda persona natural o jurídica, pública o privada que utiliza los servicios de agua para realizar sus actividades.

3.16 Valor máximo aceptable

Valor máximo de concentración permitido para los parámetros definidos en la NB 512 y el presente Reglamento.

3.17 Vigilancia de la calidad del agua

Proceso continuo y sistemático de recolección, análisis, interpretación y difusión de datos relacionados con la identificación, notificación, medición, determinación de causas de enfermedades y prevención de muertes vinculadas con la calidad del agua de consumo humano, con el propósito de formular estrategias de prevención adecuadas.

3.18 Zona de abastecimiento de agua

Comprende una de las partes de la red de distribución, con características y condiciones homogéneas de operación, funcionamiento, calidad, cantidad, continuidad y presión.

SIGLAS Y ABREVIATURAS

APHA
American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water Wastewater.

ASTM
American Society for Testing and Materials

AWWA
American Water Work Association.

EPSA
Entidad Prestadora de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario.

IBNORCA
Instituto Boliviano de Normas y Calidad.

MDS
Ministerio de Desarrollo Sostenible

MSD
Ministerio de Salud y Deportes

MSOP
Ministerio de Servicios y Obras Públicas

OBA
Organismo Boliviano de Acreditación

SISAB
Superintendencia de Saneamiento Básico.

VSB
Viceministerio de Servicios Básicos.

WPCF
Water Pollution Control Federation. Su sigla actual también es WEF - Water Environmental Federation.

OTRAS SIGLAS TÉCNICAS UTILIZADAS

Bq
Bequerelio, unidad de medición de la radiactividad

ECD
Electrón Capture Detector

ICP
Inductively Coupled Plasma = Plasma Inductivamente Acoplado

IR
Infrarrojo (Espectrofotómetro)

NPD
Nitrogen Phosphorus Detector

STD
Sólidos Totales Disueltos

UCV
Unidades de Color Verdadero

UFC
Unidades Formadoras de Colonias

UNT
Unidad Nefelométrica de Turbiedad

UV
Ultravioleta (Espectrofotómetro)

4.- USO OBLIGATORIO DEL REGLAMENTO. Las EPSA a nivel nacional y las instituciones públicas y privadas que realizan actividades de control y vigilancia de la calidad del agua, deberán hacer uso obligatorio de la Norma Boliviana NB 512 y el presente Reglamento.
Asimismo, la SISAB y/o la institución delegada por la misma efectuará la notificación correspondiente a las EPSA solicitando la adecuación y/o el cumplimiento del presente

reglamento, considerando las características de desarrollo, capacidad operativa y financiera, la evaluación de los parámetros actualmente analizados, número de muestras al mes y frecuencias de muestreo.

Sobre la base de las consideraciones indicadas anteriormente, la SISAB, definirá con cada EPSA el plazo para la aplicación del presente Reglamento en forma gradual, el mismo que no podrá ser mayor a tres (3) años.

5.- CALIDAD DE LOS SERVICIOS. De acuerdo a lo que señala el Artículo 21 de la Ley Nº 2066, las EPSA, están obligadas a garantizar la calidad de los servicios que reciben los usuarios.

6.- CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA. Las EPSA son las responsables del control de la calidad del agua suministrada de acuerdo con la Norma Boliviana NB 512 y el presente Reglamento.

7.- SEGUIMIENTO Y FISCALIZACION. El seguimiento y la fiscalización del control de la calidad del agua realizados por las EPSA, de acuerdo a disposiciones y legislación vigente, serán efectuadas por la SISAB o la institución delegada por la misma.

La responsabilidad de las EPSA en cuanto al control de calidad del agua para consumo humano, llega hasta la conexión domiciliaria, donde se ubica el medidor de agua o válvula de paso, o en su defecto hasta el grifo más cercano a la conexión o hasta la descarga a un tanque de almacenamiento domiciliario, estando exentas del control en la instalación interna.

En sistemas de abastecimiento de agua que incluyan piletas públicas, surtidores de camiones cisterna o tanques públicos de distribución de agua, la responsabilidad de las EPSA llega hasta el punto de abastecimiento de las referidas obras siempre y cuando se encuentren bajo su administración.

8.- DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CALIDAD DE LAS TUBERIAS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Con la finalidad de garantizar la calidad del agua para consumo humano, el diseño, la construcción, las tuberías y los materiales empleados en los sistemas de abastecimiento de agua potable, deben cumplir con las disposiciones contenidas en la Norma Boliviana NB 689, calidad de tuberías certificadas por IBNORCA, normas de materiales de saneamiento básico y demás instrumentos normativos que para el efecto establece el MSOP.

CAPÍTULO II
MARCO INSTITUCIONAL

9.- MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS (MSOP). A través del Viceministerio de Servicios Básicos, es la cabeza del Sector Saneamiento Básico, de acuerdo con el Artículo 10 de la Ley N° 2066, tiene atribuciones y obligaciones en el ámbito de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario.

10.- MINISTERIO DE SALUD Y DEPORTES (MSD). Ente rector de las políticas de salud y deportes, establece los lineamientos básicos y la normativa de Vigilancia Epidemiológica.

11.- MINISTERIO DE DESARROLLO SOSTENIBLE (MDS). De acuerdo con el Artículo 11 de la Ley Nº 2066, es el encargado del manejo sostenible del recurso agua, con responsabilidades relacionadas a los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario.

12.- PREFECTURA DE DEPARTAMENTO. El Artículo 12 de la Ley Nº 2066, establece las responsabilidades en el ámbito de su jurisdicción, relacionadas con los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario. En poblaciones menores a 10000 habitantes, la Prefectura deberá apoyar la capacidad operativa de las EPSA para el cumplimiento del presente Reglamento.

12.1 Servicios Departamentales de Salud (SEDES). Las SEDES de todo el país deberán realizar la Vigilancia de la Calidad del agua destinada al abastecimiento de la población del país y todo aspecto vinculado que constituya riesgo para la salud, de acuerdo con Leyes y Normativas vigentes.

13.- GOBIERNO MUNICIPAL. El Artículo 13 de la Ley Nº 2066, establece las responsabilidades en el ámbito de su jurisdicción, relacionadas con los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario. En el caso de la EPSA municipal, debe emitir una opinión técnicamente fundamentada ante la SISAB, en consulta con las instancias de participación popular establecidas en el Artículo 150 parágrafo II de la Ley de Municipalidades para la aprobación de los pliegos de licitación, firma de contratos por excepción y aprobación de precios y tarifas. En poblaciones menores a 10000 habitantes, el Gobierno Municipal deberá apoyar la capacidad operativa de las EPSA para el cumplimiento del presente Reglamento.

14.- SUPERINTENDENCIA DE SANEAMIENTO BASICO (SISAB). Organismo con jurisdicción nacional que cumple la función de regulación de la prestación y utilización de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, de acuerdo con el Artículo 15 de la Ley Nº 2066 establece las atribuciones y obligaciones de la Superintendencia de Saneamiento Básico.

15.- ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO (EPSA). Persona jurídica, pública o privada que presta uno o más de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario y que tiene alguna de las siguientes formas de Constitución:

a) Empresa Pública Municipal dependiente de uno o más Gobiernos Municipales;
b) Sociedad Anónima Mixta;
c) Empresa privada;
d) Cooperativa de servicios públicos;
e) Asociación civil;
f) Pueblos indígenas y originarios, comunidades indígenas y campesinas, asociaciones, organizaciones y sindicatos campesinos;
g) Comités de agua, pequeños sistemas urbanos independientes, juntas vecinales y cualquier otra organización que cuente con una estructura jurídica reconocida por Ley, excepto los Gobiernos Municipales.

16.- ORGANISMO BOLIVIANO DE ACREDITACIÓN (OBA). Entidad pública descentralizada dependiente del Ministerio de Desarrollo Económico, que tiene la competencia de dirigir las actividades de acreditación para el sistema de normas métricas y acreditación en el país.

CAPÍTULO III
DEL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

17.- PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA. En atención a la Norma Boliviana NB 512, los parámetros de control de calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se agrupan de acuerdo a su factibilidad técnica y económica en los siguientes grupos: Control Mínimo, Control Básico, Control Complementario y Control Especial.

18.- PARÁMETROS DE CONTROL MÍNIMO. Los parámetros de Control Mínimo de la calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se presentan en la Tabla Nº 1.

Tabla Nº 1. PARÁMETROS DE CONTROL MÍNIMO

Parámetro	Valor máximo aceptable
pH	6,5 – 9,0
Conductividad	1.500 μS/cm*
Turbiedad	5 UNT
Cloro residual	0,2 – 1,0 mg/l
Coliformes termoresistentes	0 UFC/100 ml

* El valor máximo aceptable de la conductividad, se puede expresar también como 1.000 mg STD/l.

- El parámetro temperatura, se debe medir en el punto de muestreo y en laboratorio a tiempo de realizar los análisis. Sirve como referencia para los análisis microbiológicos y para el cálculo del Índice de Langelier.

19.- PARÁMETROS DE CONTROL BÁSICO. Los parámetros de Control Básico de la calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se presentan en la Tabla Nº 2.

Tabla Nº 2. PARÁMETROS DE CONTROL BÁSICO

Parámetro	Valor máximo aceptable
Físicos	
Color	15 UCV
Químicos	
Sólidos totales disueltos	1.000 mg/l
Químicos Inorgánicos	
Alcalinidad total	370,0 mg/l de $CaCO_3$
Calcio	200,0 mg/l
Cloruros	250,0 mg/l
Dureza	500,0 mg/l de $CaCO_3$
Hierro total	0,3 mg/l
Magnesio	150,0 mg/l
Manganeso	0,1 mg/l
Sodio	200,0 mg/l
Sulfatos	400,0 mg/l

20.- PARÁMETROS DE CONTROL COMPLEMENTARIO. Los parámetros de Control Complementario de la calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se presentan en la Tabla Nº 3.

Tabla Nº 3. PARÁMETROS DE CONTROL COMPLEMENTARIO

Parámetro	Valor máximo aceptable
a) Químicos Inorgánicos	
Aluminio	0,1 mg/l
Amoníaco	0,5 mg/l
Arsénico	0,01 mg/l
Boro	0,3 mg/l
Cobre	1,0 mg/l
Fluoruro	1,5 mg/l
Nitritos	0,1 mg/l
Nitratos	45,0 mg/l
Plomo	0,01 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
b) Subproductos de la Desinfección	
Trihalometanos totales (THM)	100 µg/l
c) Químicos Orgánicos	
Plaguicidas	
Plaguicidas totales	0,5 µg/l
Plaguicidas individuales(*)	0,1 µg/l
Hidrocarburos	
Hidrocarburos totales (TPH)	10,0 µg/l
Benceno	2,0 µg/l
d) Microbiológicos	
Bacterias	
Coliformes totales	0 UFC/100 ml
Escherichia coli	0 UFC/100 ml
Heterotróficas totales	500 UFC/100 ml
Pseudomonas aeruginosa	0 UFC/100 ml
Clostridium perfringens	0 UFC/100 ml
Parásitos	
Cryptosporidium sp.	Ausencia
Giárdia sp.	Ausencia
Amebas	Ausencia

(*) Existen plaguicidas cuyos valores individuales pueden superar el valor máximo aceptable individual o la suma de sus valores individuales superar el valor máximo total.

21.- PARÁMETROS DE CONTROL ESPECIAL. Los parámetros de Control Especial de la calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se presentan en la Tabla Nº 4. Estos parámetros serán realizados en situaciones de desastre o en casos especiales de acuerdo con el historial de la fuente y/o región, o cuando así lo vean por conveniente las EPSA y/o la SISAB.

Tabla Nº 4. PARÁMETROS DE CONTROL ESPECIAL

Parámetro	Valor máximo aceptable
Químicos Inorgánicos	
Antimonio	0,005 mg/l
Bario	0,7 mg/l
Cadmio	0,005 mg/l
Cianuro	0,07 mg/l
Cromo Total	0,05 mg/l
Mercurio	0,001 mg/l
Niquel	0,05 mg/l
Sabor y olor	Aceptable.
Selenio	0,01 mg/l
Químicos Orgánicos Hidrocarburos	
Tolueno	700,0 µg/l
Etilbenceno	300,0 µg/l
Xileno	500,0 µg/l
Benzo(a)pireno	0,2 µg/l
Radiactivos	
Radiactividad alfa global	0,10 Bq/l *
Radiactividad beta global	1,0 Bq/l *
Químicos Orgánicos	
Acrilamida	0,5 µg/l
Epiclorohidrina	0,4 µg/l
Cloroformo	100,0 µg/l
Cloruro de vinilo	2,0 µg/l
Fenol	2,0 µg/l

Guías de la OPS/OMS 1995

*** Bq = Bequerelio**

22.- NÚMERO MÍNIMO DE MUESTRAS EN LA RED. Las EPSA, determinarán en la red de distribución, el número mínimo de muestras en función de la población abastecida, empleando la Tabla Nº 5:

Tabla Nº 5. CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRAS DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL MÍNIMO (Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de muestras
≤ 1.000	1/trimestre
1.001 a 2.000	1/bimestre
2.001 a 5.000	1/mes
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las Guías de la OPS/OMS - Vol. 3

23.- NÚMERO MÍNIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN RED. Para poblaciones mayores a 5.000 habitantes, el número mínimo de puntos de muestreo semanales en la red de distribución resulta de la división de la cantidad obtenida de la Tabla Nº 5 entre cuatro (4). En caso de obtenerse un resultado decimal se redondeará al número inmediato superior (ejemplo: 2,3 = 3).

Para poblaciones menores a 5.000 habitantes el número mínimo de puntos de muestreo será el obtenido de la Tabla Nº 5, no siendo necesario dividir por cuatro (4).

24.- UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED. Sobre la base del valor establecido en el numeral 23, las EPSA deben ubicar en la red de distribución los puntos de muestreo, aplicando los siguientes criterios:

- Deben ser uniformemente distribuidos e incluir zonas geográficas con riesgo de contaminación, puntos de baja presión, alta densidad poblacional, tramos finales de tuberías, etc.
- Deben ser representativos de la zona de abastecimiento.
- Deben ser proporcionales a la población abastecida.

De acuerdo con las consideraciones anteriores, existe la posibilidad que el número de puntos de muestreo establecido en la red puede ser mayor al obtenido en el numeral 23.

25.- TOMA DE MUESTRAS. Las EPSA, deben tomar muestras de agua en la red de distribución de acuerdo al número de puntos de muestreo obtenido en la Tabla Nº 5 y el numeral 23. Cuando el número de puntos de muestreo establecidos de acuerdo al numeral 24 sea mayor al obtenido en el numeral 23, los muestreos semanales en los puntos establecidos pueden ser rotativos, respetando así la cantidad de muestras definidas.

En la Figura Nº 1 se indica la ubicación referencial de los puntos de muestreo en un sistema de abastecimiento de agua. En sitios donde no exista Planta de Tratamiento (punto 2 de la Figura

Nº 1) la toma debe realizarse a la salida del Tanque (punto 3).

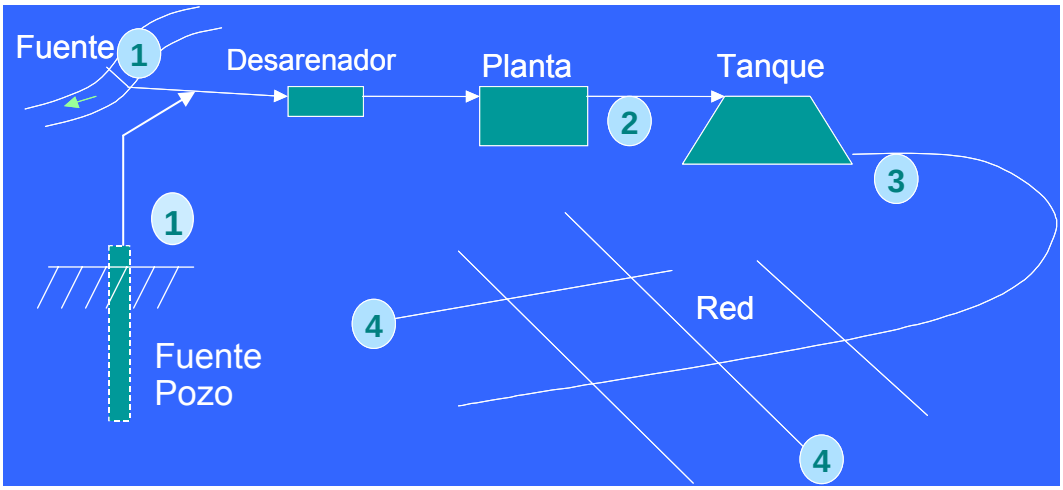


Figura Nº 1. UBICACIÓN REFERENCIAL DE PUNTOS DE MUESTREO

26.- CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO. Los puntos de muestreo deben permitir la toma de muestras representativas de la calidad del agua suministrada por las EPSA. El grifo de muestreo debe estar situado lo más próximo a la conexión domiciliaria controlada por las EPSA y libre de la influencia de un tanque de almacenamiento subterráneo, tanque elevado o cualquier otro tipo de almacenamiento de agua intradomiciliario.

27.- FRECUENCIAS DE MUESTREO. La Tabla Nº 6 presenta la frecuencia mínima de muestreo al año que deben realizar las EPSA para el control de la calidad del agua. Para el efecto se debe considerar la población abastecida, los parámetros de control (Tablas Nº 1 a Nº 4) y la ubicación de los puntos de muestreo.

28.- MODIFICACIÓN DE FRECUENCIAS DE MUESTREO. Se define como modificación de frecuencias de muestreo tanto al incremento como a la reducción del número de muestras a ser tomadas del o los parámetros en consideración.

29.- INCREMENTO DE FRECUENCIAS DE MUESTREO. Las EPSA, procederán con el incremento de frecuencias de muestreo, en los siguientes casos:

a) Si el resultado de los análisis obtenidos, para cualquier parámetro ha sido excedido bajo condiciones normales de operación o bajo condiciones meteorológicas adversas.
b) Si el resultado de los análisis ha demostrado que el valor máximo aceptable de cualquier parámetro ha sido excedido, en más de tres muestras consecutivas.

La EPSA debe incrementar la frecuencia de muestreo del parámetro en cuestión, las veces que sea necesario hasta que el problema haya sido controlado y el riesgo previsible sea bajo, de lo contrario deberá suspender el servicio y comunicar a la SISAB o a la institución delegada por la misma, los detalles del problema, la solución y/o las acciones a ser realizadas.

30.- DECREMENTO DE FRECUENCIAS DE MUESTREO. Si durante dos años consecutivos, el resultado de los análisis de los parámetros de Control Básico y Control Complementario

(Tablas Nº 2 y Nº 3) tiene valores por debajo de lo establecido en la NB 512, las EPSA podrán tramitar ante el VSB o autoridad competente de acuerdo a normativa vigente, que la frecuencia de muestreo a ser tomada en el siguiente año con respecto a aquel parámetro, para la Tabla Nº 2 será de forma semestral y para la Tabla Nº 3 será de forma anual. Esta modificación no es aplicable a los parámetros microbiológicos.

Tabla Nº 6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO AL AÑO Y PARAMETROS DE CONTROL

Población abastecida Hab.	Parámetros de Control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (Punto 4)	
		Fuente Superficial	Fuente Subterránea	Fuente Superficial	Fuente Subterránea
≤ 1.000	Mínimo (Tabla N°1)	Bimensual	Cuatrimestral	Trimestral	Trimestral
1000 a 2.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
2.001 a 5.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001- 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 (salida de la Planta de Tratamiento).

31.- CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DE CALIDAD. Los requisitos de calidad que deberán cumplir las EPSA con relación al agua para consumo humano son:

a) En el curso de un año, el 90 por ciento (90%) de los resultados de los análisis correspondientes a los compuestos que afectan la calidad organoléptica, física y química del agua de consumo humano y que se encuentran detallados en las Tablas Nº 1, Nº 2 y Nº 3 del presente Reglamento, no deben exceder las concentraciones o valores establecidos en la Norma Boliviana NB 512.

b) Durante el período de un año el contenido de Coliformes termoresistentes por 100 mililitros del total de muestras tomadas a la salida de la planta de tratamiento, tanques de almacenamiento y red de distribución de las zonas de abastecimiento de agua, deben cumplir lo siguiente:

- El 95 por ciento (95%) de las muestras analizadas, no deben contener coliformes termoresistentes.

c) Cuando la concentración de cloro residual sea menor a 0.2 mg/l en un punto terminal de la red, se procederá a tomar una muestra de agua para análisis bacteriológico de coliformes termoresistentes.

d) La realización de los análisis de parámetros de Control Especial descritos en la Tabla Nº 4, serán realizados por las EPSA cuando se identifique, sospeche y/o exista denuncia de que la fuente para el consumo de agua haya sufrido contaminación.

32.- MEZCLA DE FUENTES DE AGUA. La frecuencia de muestreo en caso de mezcla de fuentes de agua subterránea y superficial, será determinada considerando la mezcla como agua superficial.

33.- CONTROL PERIODICO EN FUENTE. Las EPSA de forma rutinaria tomando como guía los parámetros de la NB 512, NB 689 y el Reglamento de Recursos Hídricos de la Ley 1333, deben realizar un control periódico de la calidad del agua de la fuente (Figura Nº 1, Punto 1) en época de estiaje y época de lluvias (2 veces / año) y/o en caso de que se realice una mezcla de fuentes, de tal manera que permita controlar la calidad de la fuente de agua y/o la eficiencia del proceso de tratamiento.

34.- CONTROL EN LA SELECCIÓN DE LA FUENTE. Las EPSA deben realizar un análisis de la calidad del agua de la fuente de acuerdo con las Tablas Nº 1, Nº 2 y Nº 3, al inicio de las actividades y/o durante el proceso de selección de la fuente. En caso de excederse los valores máximos aceptables, las EPSA deben considerar los costos de tratamiento y sus posibilidades tecnológicas en función de los valores de los parámetros, o desechar la fuente para evitar posteriores inconvenientes.

35.- PROCEDIMIENTO DE MUESTREO. Las EPSA, deben garantizar que el muestreo, manipuleo, preservación, transporte, almacenaje y el análisis de la muestra sean realizados de acuerdo a la Norma Boliviana NB 496 “Agua Potable – Toma de Muestras”. A continuación se mencionan los requisitos más relevantes:

a) Que los frascos de muestreo sean preparados de acuerdo con los procedimientos que se utilizan para la toma de muestras.
b) Que la muestra sea representativa de la calidad de agua de la fuente o zonas de abastecimiento a tiempo de tomar la muestra.
c) Que la muestra no sea contaminada durante el muestreo.
d) Que la muestra sea mantenida a una temperatura y condiciones asegurando que no

se presente ninguna alteración natural del valor o concentración, para la medición u observación a la cual la muestra esté destinada.

e) Que la muestra sea tomada por una persona capacitada y con experiencia en la toma de muestras de agua.

f) Que la muestra sea analizada tan pronto como sea posible en un plazo no mayor a 48 horas después de su toma y de acuerdo con Procedimientos Normalizados (PNO).

36.- METODOS ANALÍTICOS DE REFERENCIA.- Las determinaciones analíticas de los parámetros indicados en la reglamentación, deben ejecutarse de acuerdo y siguiendo normas vigentes, tomando como referencia métodos estándar de análisis publicados por APHA, AWWA, WPCF, ASTM DIN o lo señalado en la Tabla Nº 7. Métodos Analíticos de Referencia.

Tabla Nº 7. MÉTODOS ANALÍTICOS DE REFERENCIA.

Parámetro	Método de análisis
Parámetros organolépticos	
Color	Espectrofotométrico.
Turbiedad	Nefelométrico, Jackson
Olor	Número umbral
Sabor	Número umbral
Parámetros físicos- químicos	
pH (ión hidronio)	Electrométrico
Conductividad	Electrométrico
Alcalinidad	Volumétrico
Sulfato	Nefelométrico, Cromatografía de iones, Gravimétrico
Cloruro	Volumétrico - Nitrato de Plata o Nitrato Mercúrico, Cromatografía de iones
Cloro residual	Espectrofotométrico DPD Iodométrico, Colorimétrico DPD
Dureza total	Volumétrico EDTA
Calcio	Volumétrico EDTA, Fotometría de llama, Espectrometría de Absorción Atómica
Magnesio	Espectrometría de Absorción Atómica, Cálculo
Aluminio	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico eriocromo cianine R
Sodio	Fotometría de llama, Espectrometría de Absorción Atómica
Sólidos disueltos totales	Espectofotométrico, Gravimétrico
Otros parámetros inorgánicos	
Nitrato	Espectrofotométrico reducción de cadmio, Cromatografía de iones
Nitrito	Espectrofotométrico diazotización, Cromatografía de iones

Parámetro	Método de análisis
Nitrógeno amoniacal	Ión selectivo, Espectrofotométrico fenato
Fluoruro	Ión selectivo, Espectrofotométrico SPANDS, Cromatografía de iones
Boro	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico ácido carmínico
Bario	Espectrometría de Absorción Atómica
Hierro ferroso	Espectrofotométrico 1,10 – fenantrolina
Hierro total	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico 1,10 – fenantrolina
Manganeso	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico persulfato
Cobre	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico batocuproina
Zinc	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico ditizona
Antimonio	Espectrometría de Absorción Atómica, Horno de Grafito, Espectrofotométrico ditizona
Otros parámetros orgánicos	
Cloroformo	Cromatografía de Gases
Fenoles	Espectrofotométrico 4 amino antipirina (extracción con Cloroformo)
Archilamida	Cromatografía de Gases
Epiclorhidrina	Cromatografía de Gases
Hidrocarburos totales	Espectrofotometría IR, Espectrofotometría UV
Tolueno	Cromatografía de Gases
Benceno	Cromatografía de Gases
Etilbenceno	Cromatografía de Gases
Xileno	Cromatografía de Gases
Benceno(a) pireno	Cromatografía de Gases
Trialometanos	Cromatografía de Gases
Cloruro de vinilo	Cromatografía de Gases
Parámetros relativos a sustancias tóxicas	
Plaguicidas	
Plaguicidas Totales	Cromatografía de Gases (detector, ECD, NPD), Cromatografía Líquida (detector UV).
Plaguicidas Individuales	Cromatografía de Gases (detector ECD, NPD) y Cromatografía Líquida (detector UV).
Arsénico	Espectrofotométrico dietil ditio carbamato de plata, Espectrometría de Absorción Atómica, Generación de Hidruros

Parámetro	Método de análisis
Cadmio	Espectrometría de Absorción Atómica - Espectrofotométrico ditizona
Cianuro	Espectrofotométrico cloramina T.
Cromo total	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico difenilcarbazida.
Mercurio	Espectrometría de Absorción Atómica, Vapor Frío, Espectrofotométrico ditizona
Plomo	Espectrometría de Absorción Atómica, Horno de Grafito, Espectrofotométrico ditizona
Selenio	Espectrometría de Absorción Atómica, Generación de hidruros, Espectrofotométrico diaminobencidina
Parámetros microbiológicos	
Coliformes totales	Filtración en membrana- ISO 9308
Coliformes termoresistentes	Filtración en membrana – ISO 9308
Escherichia coli	Filtración en membrana, Colilert – ISO 9308
Heterotróficas totales	Filtración en membrana
Clostridium perfringens	Cultivo anaeróbico
Pseudomonas aeruginosa	Filtración en membrana
Cryptosporidium sp.	Concentración e identificación microscópica – EPA 1623
Giardia sp.	Concentración e identificación microscópica – EPA 1623
Amebas	Concentración e identificación microscópica

También se puede tomar como Guía el "Manual Simplificado para el Análisis Fisicoquímico y Bacteriológico de Aguas".
La selección del Método deberá estar en relación con el valor de la norma y el límite de detección del Método.
Los plaguicidas, hidrocarburos y otros compuestos orgánicos, también pueden ser determinados por cromatografía de gases con detector de masas.
Los metales también pueden ser determinados por ICP (Plasma Inductivamente Acoplado).

37.- ANALISIS Y CONTROL DE CALIDAD. Para la realización de los análisis, el control de calidad del agua para consumo humano y la adopción de las medidas correctivas oportunas, las EPSA deben disponer de un laboratorio propio o contratado, que se encuentre acreditado o reconocido en Buenas Prácticas de Laboratorio por el OBA.

38.- PÉRDIDA DE LOS REQUISITOS DE CALIDAD. Si por alguna eventualidad, el agua para consumo humano perdiera los requisitos de calidad señalados en el presente Reglamento, las EPSA, deben poner en conocimiento de este hecho y sus consecuencias a la SISAB, o autoridad delegada por ésta, realizando los siguientes pasos:

a) Identificando el problema.
b) Corrigiendo el problema.

c) Aumentando la frecuencia de muestreo.

39.- RIESGO DE SALUD DE LOS CONSUMIDORES. En caso de que la pérdida de los requisitos de calidad del agua para consumo humano implique un riesgo inminente a la salud de los consumidores, las EPSA, quedan facultadas a suspender total o parcialmente el suministro de agua, comunicando inmediatamente de dicha suspensión a la SISAB, o autoridad delegada por ésta, la cual en estrecha coordinación con las EPSA, definirá la aplicación de las medidas oportunas.

40.- SUMINISTRO DE AGUA POR CISTERNAS. Si la EPSA se viera obligada a suministrar agua a través de camiones cisterna, este suministro debe realizarse garantizando la conservación de la calidad del agua hasta el lugar de distribución.

41.- ACCESO LIBRE A PERSONAL AUTORIZADO A PREDIOS DE LAS EPSA. Los predios de la planta de tratamiento deben ser de acceso libre a personal autorizado por el VSB, o la autoridad delegada por éste, debidamente identificado para que realice control de la calidad del agua, vigilancia de la misma y/o verificación de los procesos de tratamiento, para cualquier efecto justificado.

42.- REGISTRO DE LAS EPSA Y DE LA INFORMACION.- Para complementar el Control de Calidad del Agua definido en el CAPITULO III del presente Reglamento, las EPSA deben establecer un registro de información con el siguiente contenido:

a) Identificación y ubicación de la EPSA.
   - Nombre del sistema de agua.
   - Departamento, Provincia, Municipio, Localidad y Dirección.

b) Datos del sistema de agua.
   - Tipo y número de fuentes.
   - Tipo o proceso de tratamiento.
   - Población abastecida.
   - Volumen de agua abastecida por día.

c) Datos georeferenciados para ubicación del sistema de agua.

d) Datos del personal responsable del control de la calidad del agua.

e) Parámetros especiales o exceptuados bajo los CAPITULOS III y IV.

f) Tabla de los parámetros con los métodos de análisis que se emplean en el control de la calidad del agua, y los mínimos detectables por el método, teniendo como referencia la Tabla Nº 7 del presente Reglamento.

g) Las Planillas de Registro de Información del Control de Calidad del Agua N°: 1, 2, 3, 4 y 5 del Anexo 1 del presente Reglamento, sirven como referencia para registrar esta información. Las EPSA podrán a su criterio aplicar los formatos ya establecidos en sus contratos o documentos pertinentes.

CAPÍTULO IV
DE LAS EXCEPCIONES

43.- AUTORIZACIONES EXCEPCIONALES. El MSOP a través del VSB como ente normador a solicitud de las EPSA, puede conceder autorizaciones excepcionales a las concentraciones o valores de los parámetros establecidos en la NB 512, solo y únicamente en los siguientes casos:

a) Como medida temporal para mantener el abastecimiento de agua para consumo humano siempre que el servicio no pueda ser atendido de ninguna otra manera.
b) Porque la fuente de agua original no pueda ser utilizada y se utilice otra como fuente temporal.
c) Por razones excepcionales dadas por condiciones metereológicas.
d) Por ser la única fuente que se tiene en el lugar o zona.
e) Para aguas con propiedades naturales.
f) Por ser un pasivo ambiental.

44.- SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN EXCEPCIONAL. La autorización excepcional debe solicitarse al VSB bajo la forma de declaración jurada indicando lo siguiente:

a) Razón social y dirección del abastecedor.
b) Fuente o zonas a ser exceptuadas.
c) Causales de excepción.
d) Pruebas que respalden su solicitud y características de la calidad del agua a la cual se aplica la autorización.
e) Concentración o valor del parámetro o parámetros a ser exceptuados.
f) Periodo de vigencia de la misma, precisando las fechas de inicio y de culminación.
g) Fundamentación del período de excepción solicitado.
h) Plan a seguirse para mejorar la calidad del agua.
i) Plan de monitoreo o control de la calidad del agua.

45.- PERÍODO DE EXCEPCIÓN. El período de excepción podrá extenderse desde 10 días hasta un máximo de 3 meses, dependiendo de la fundamentación manifestada por las EPSA solicitantes.

46.- EXTENSIÓN DE LA AUTORIZACIÓN. En caso de haberse cumplido el período de excepción autorizado y que las EPSA no hayan podido aún adecuar la calidad del agua abastecida, es posible ampliar por única vez el período de excepción basándose en los incisos h, i, del numeral 44 del presente Reglamento, los cuales deben contar con un sólido respaldo técnico.

47.- RESTRICCIONES. Una autorización excepcional concedida en aplicación del numeral 43 de este Reglamento, sólo puede exceptuar las concentraciones o valores correspondientes a los compuestos que afectan la calidad organoléptica, física y química del agua de consumo humano hasta una concentración que no represente riesgo a la salud pública por un tiempo máximo de tres meses. Los parámetros microbiológicos no están sujetos a esta excepción.

48.- REVOCATORIA O MODIFICACION DE LA AUTORIZACION. A solicitud de las EPSA, el VSB, puede revocar o modificar una autorización excepcional cuando se compruebe a través de acción coordinada con representantes del Sector Salud, que no existe riesgo para la salud de los consumidores.

Las EPSA deben correr con los gastos de verificación de parámetros de calidad para otorgar una autorización excepcional (mediante Laboratorios de Referencia).

49.- RIESGOS DE CONTAMINACIÓN EN FUENTES DE ABASTECIMIENTO. En caso de existir actividades que potencialmente representen un riesgo de contaminación al recurso hídrico en la fuente de agua, las EPSA deberán realizar la denuncia justificada ante la autoridad ambiental y las autoridades correspondientes a efecto que se tomen las medidas correctivas y/o preventivas.

50.- EVENTO ADVERSO. En caso de acontecer un evento adverso (contaminación furtiva), desastre natural o siniestro (derrame), las EPSA deberán realizar de forma inmediata un estudio completo de la situación de riesgo, que les permita tomar las medidas correspondientes de acuerdo al caso.

PLANILLAS

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

ANEXO 1

Planillas de Registro de Información del Control de Calidad del Agua

NOVIEMBRE 2005

PLANILLA Nº 1
HOJA DE IDENTIFICACIÓN

1. IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN DE LA EPSA

NOMBRE:.....
DEPARTAMENTO: .....
PROVINCIA: .....
MUNICIPIO: …….....
DIRECCIÓN: .....
TELÉFONO: .....
CASILLA: .....
E-MAIL: .....

2. DATOS DEL SISTEMA DE AGUA

NOMBRE DEL SISTEMA: …….....…….
GEOREFERENCIACION ……..
TIPO Y NÚMERO DE FUENTES: .....
TIPO O PROCESO DE TRATAMIENTO: .....
POBLACIÓN ABASTECIDA: ….....….....….....……..…
VOLUMEN DE AGUA ABASTECIDA/DIA: .....
NOMBRE RESPONSABLE DEL CONTROL DE CALIDAD …….

3. PARÁMETROS ESPECIALES Ó EXCEPTUADOS

4. TABLA DE PARÁMETROS, MÉTODOS Y LÍMITES DE DETECCIÓN

LISTA DE PARÁMETROS:
MÉTODO DE ANÁLISIS EMPLEADO POR PARÁMETRO:
LIMITE DE DETECCION DEL MÉTODO:

NOTA: Este ítem puede ser presentado una sola vez por año.

PLANILLA Nº 2
REGISTRO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA Y EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO
REPORTE MENSUAL

NOMBRE DEL SISTEMA: .....
TIPO DE TRATAMIENTO: .....

FECHA	TIPO DE ANALISIS	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR			VALOR GUÍA NB 512
				Afluente a planta	Efluente de planta	Efluente de tanque	
DIA: 1	Control Mínimo.	pH.					
		Conductividad.					
		Turbiedad.					
		Cloro residual.					
		Termoresistente.					
DIA: 2	Control Mínimo.	pH.					
		Conductividad.					
		Turbiedad.					
		Cloro residual.					
		Termoresistente.					
DIA: 3	Control Mínimo.	pH.					
		Conductividad.					
		Turbiedad.					
		Cloro residual.					
		Termoresistente.					
DIA: 5	Control Mínimo.	pH.					
		Conductividad.					
		Turbiedad.					
		Cloro residual.					
		Termoresistente.					
DIA: 30 (Ultimo día del mes)	Control Mínimo y Básico	pH.					
		Conductividad.					
		Turbiedad.					
		Cloro residual.					
		Color.					
		Dureza.					
		Sodio.					
		Hierro total.					
		Manganeso.					
		Cloruros.					
		Sulfatos.					
		Termoresistente.					

PLANILLA Nº 3
CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN
REPORTE MENSUAL

NOMBRE DEL SISTEMA: .....

FECHA	TIPO DE ANÁLISIS	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR EN EL PUNTO DE MUESTREO								Observación
				1	2	3	4	5	6	7	8	
DIA:1	Control Mínimo	pH.										
		Conductividad.										
		Turbiedad.										
		Cloro residual.										
		Termoresistente.										
DIA: 2	Control Mínimo	pH.										
		Conductividad.										
		Turbiedad.										
		Cloro residual.										
		Termoresistente.										
DIA: 3	Control Mínimo	pH.										
		Conductividad.										
		Turbiedad.										
		Cloro residual.										
		Termoresistente.										
DIA: 30	Control Básico	pH.										
		Conductividad.										
		Turbiedad.										
		Cloro residual.										
		Color.										
		Dureza.										
		Sodio.										
		Hierro total.										
		Manganeso.										
		Cloruros.										
		Sulfatos.										
		Termoresistente.										

NOTA: En caso de análisis de parámetros especiales (Tabla Nº 4 del Reglamento) se debe reportar en formato similar.

PLANILLA Nº 4
CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO
REPORTE SEMESTRAL.

NOMBRE DEL SISTEMA: .....

TIPO DE ANALISIS	FECHA	PARAMETRO	VALOR		VALOR GUIA NB 512	OBSERVACIONES
			Afluente a Planta	Efluente de Planta		
Control Complem.		**Químicos Inorgánicos**				
		Arsénico.				
		Bario.				
		Boro.				
		Cadmio.				
		Cianuro.				
		Cobre.				
		Fluoruro.				
		Aluminio.				
		Nitritos.				
		Nitratos.				
		Plomo.				
		Zinc.				
		Níquel.				
		Subproductos de la desinfección.				
		Trihalometanos.				
		Químicos Orgánicos				
		a) Plaguicidas.				
		Plaguicidas Totales.				
		Plaguicida Individual.				
		b) Hidrocarburos.				
		Hidrocarburos Totales.				
		Benceno.				
		Tolueno.				
		Etilbenceno.				
		Xileno.				
		Benzo(a)pireno.				
		Microbiológico.				
		a) Bacterias.				
		Coniformes Totales				
		Escherichia Coli.				
		Heterotróficas.				
		Pseudomonas.				
		Clostridium.				
		b) Parásitos.				
		Cryptosporidium.				
		Giardia.				
		Amebas.				

PLANILLA Nº 5 - CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

REPORTE MENSUAL

DATOS COMPARATIVOS Y VALORES PROMEDIO

NOMBRE DEL SISTEMA: .....

PERÍODO AL QUE CORRESPONDE EL REPORTE.....

FECHA DE PRESENTACIÓN.....

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR NB 512	NÚMERO DE MUESTRAS ANALIZADAS	VALOR MINIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO	% CONFORMIDAD	OBSERVACIONES
MINIMO								
pH.								
Conductividad.								
Turbiedad.								
Cloro residual.								
Termorresistente.								
MINIMO + BASICO								
pH.								
Conductividad.								
Turbiedad.								
Cloro residual.								
Color.								
Dureza.								
Sodio.								
Hierro total.								
Manganeso.								
Cloruros.								
Sulfatos.								
Colif. Termoresist.								
Alcalinidad Total								

EJEMPLOS

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

ANEXO 2

Ejemplos de Aplicación del Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano

NOVIEMBRE 2005

EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL REGLAMENTO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

EJEMPLO 1:

Comunidad: XXXXX
Población abastecida: 750 habitantes.
Tipo de fuente: Superficial.

Paso 1. DETERMINACION DE LA CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS AL AÑO.

Tabla N° 5. CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRAS.
(Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de Muestras
≤ 1.000	1/trimestre
1.001 a 2.000	1/bimestre
2.001 a 5.000	1/mes
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las guías de la OMS/OPS Vol. 3

Punto	Cálculo	Número de Muestras
4 (Red)	750 h	1 cada tres meses

Paso 2. NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED = 1 cada tres meses

Paso 3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

La ubicación será determinada conforme a los criterios definidos en los numerales 23 y 24 del Reglamento Nacional.

Paso 4. FRECUENCIA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL (Tabla Nº 6)

Tabla N° 6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO AL AÑO Y PARAMETROS DE CONTROL EN LOS PUNTOS 3 Y 4.

Población abastecida Hab.	Parámetros de Control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (Punto 4)	
		Fuente Superficial	Fuente Subterránea	Fuente Superficial	Fuente Subterránea
≤ 1.000	Mínimo (Tabla N°1)	Bimensual	Cuatrimestral	Trimestral	Trimestral
1000 a 2.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
2.001 a 5.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001-500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

La frecuencia de muestreo y los parámetros de control de una fuente superficial para una población de 750 hab., se obtienen de las Tablas Nº 5 y Nº 6 del Reglamento Nacional.

Parámetro de Control	Número de Muestras (punto 3)	Número de Muestras (punto 4)
Mínimo (Tabla Nº 1)	1 vez/cada 2 meses	1 vez/cada 3 meses

Paso 5. RESUMEN DEL NUMERO DE MUESTRAS ANUALES, PARAMETROS DE CONTROL Y TIPO DE ANALISIS (FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS) QUE SE DEBEN REALIZAR PARA UNA POBLACIÓN DE 750 HABITANTES

Los Parámetros de Control se obtienen de la Tabla 6:

TABLA RESUMEN ANUAL PARA UNA POBLACION DE 750 HABITANTES

Parámetros de Control	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 3*	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 4	Total número de muestras a ser analizadas al año en el Sistema
	(1)	(2)	(3)
Mínimo – Tabla N° 1 (Fisicoquímico)	(1x6) = 6	(1x4) = 4	10
Mínimo – Tabla N° 1 (Bacteriológico)	(1x6) = 6	(1x4) = 4	10
Básico – Tabla N° 2 (Fisicoquímico)	-	-	-
Complementario – Tabla N°3	-	-	-

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestra se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº 1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

(1) Resulta de multiplicar la frecuencia mínima de muestreo para el punto 3 (Paso 4) por 6 (porque es cada 2 meses).
(2) Resulta de multiplicar el número de muestras por mes en la red (Paso 4) por 4 (porque es cada 3 meses).

Nota 1: Parámetros de Control Básico y Complementario:

La no definición de los Parámetros Básicos y Complementarios no quiere decir que no se realicen, si se ve que es necesario realizar y existen las posibilidades económicas, es obviamente aconsejable hacerlo.

Nota 2: Parámetros de Control Especial:

En caso excepcional, por efectos de un desastre natural o contaminación provocada, se realizará los análisis de todos los Parámetros de Control Especial (Tabla Nº 4) o algunos de la misma, como se indica en el Numeral 21 del Reglamento Nacional.

COSTO REFERENCIAL ANUAL

Para una población abastecida de 750 habitantes:

Tipo de Análisis	No. de Muestras en el Sistema	No. de Muestras en la Red	No. de Muestras Totales	Costo Promedio por Análisis Bs.	Costo Total (Bs.)
Mínimo Fisicoquímico	6	4	10	27	270
Mínimo Bacteriológico	6	4	10	71	710
Básico Fisicoquímico	-	-	-		
Complementario	-	-	-		
				TOTAL Bs.	**980**

Considerando el cambio de 1 dólar a Bs. 7.92 tenemos **US$ 123,74**

EJEMPLO 2:

Comunidad: XXXX
Población abastecida: 1.500 habitantes
Tipo de fuente: Superficial.

Paso 1. DETERMINACION DE LA CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS AL AÑO.

Tabla N°5. CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS (Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de Muestras
≤ 1.000	1/trimestre
1.001 a 2.000	1/bimestre
2.001 a 5.000	1/mes
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las guías de la OMS/OPS Vol. 3

Punto	Cálculo	Número de Muestras
4 (Red)	1500 h	1 cada dos meses

Paso 2. NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED = 1 cada dos meses

Paso 3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

La ubicación será determinada conforme a los criterios definidos en los numerales 23 y 24 del Reglamento Nacional.

Paso 4. FRECUENCIA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL (Tabla N° 6)

Tabla N°6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL EN LOS PUNTOS 3 y 4.

Población abastecida Hab.	Parámetros de Control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (Punto 4)	
		Fuente Superficial	Fuente Subterránea	Fuente Superficial	Fuente Subterránea
≤ 1.000	Mínimo (Tabla N°1)	Bimensual	Cuatrimestral	Trimestral	Trimestral
1000 a 2.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
2.001 a 5.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001-500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

La frecuencia de muestreo y los parámetros de control de una fuente superficial para una población de 1.500 hab., se obtienen de las Tablas Nº 5 y Nº 6 del Reglamento Nacional.

Parámetros de Control	Número de Muestras (punto 3)	Número de Muestras (punto 4)
Mínimo (Tabla Nº 1)	1 vez cada mes	1 vez cada 2 meses

Paso 5. RESUMEN DEL NUMERO DE MUESTRAS ANUALES, PARAMETROS DE CONTROL Y TIPO DE ANALISIS (FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS) QUE SE DEBEN REALIZAR PARA UNA POBLACION DE 1.500 HABITANTES.

Los Parámetros de Control se obtienen de la Tabla 6:

TABLA RESUMEN ANUAL PARA UNA POBLACION DE 1.500 HABITANTES

Parámetros de Control	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 3 *	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 4	Total número de muestras a ser analizadas al año en el Sistema
	(1)	(2)	(3)
Mínimo – Tabla N°1 (Fisicoquímico)	(1x12) = 12	(1x6) = 6	18
Mínimo – Tabla N°1 (Bacteriológico)	(1x12) = 12	(1x6) = 6	18
Básico – Tabla N°2 (Fisicoquímico)	-	-	-
Complementario – Tabla N°3	-	-	-

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestra se realizará en el Punto 2 de la Figura N°1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

(1) Resulta de multiplicar la frecuencia mínima de muestreo para el punto 3 (Paso 4) por 12 meses.
(2) Resulta de multiplicar el número de muestras por mes en la red (Paso 4) por 6 al año.

Nota 1: Parámetros de Control Básico y Complementario:

La no definición de los Parámetros Básicos y Complementarios no quiere decir que no se realicen, si se ve que es necesario realizar y existen las posibilidades económicas, es obviamente aconsejable hacerlo.

Nota 2: Parámetro de Control Especial:

En caso excepcional, por efectos de un desastre natural o contaminación provocada, se realizará los análisis de todos los Parámetros de Control Especial (Tabla N° 4) o algunos de la misma, como se indica en el Numeral 21 del Reglamento Nacional.

COSTO REFERENCIAL ANUAL

Para una población abastecida de 1.500 habitantes:

Tipo de Análisis	No. de Muestras en el Sistema	No. de Muestras en la Red	No. de Muestras Totales	Costo Promedio por Análisis Bs.	Costo Total (Bs.)
Mínimo Fisicoquímico	12	6	18	27	486
Mínimo Bacteriológico	12	6	18	71	1278
Básico Fisicoquímico	-	-	-		
Complementario	-	-	-		

TOTAL Bs. 1764

Considerando el cambio de 1 dólar a Bs. 7.92 tenemos **US$ 222,73**

EJEMPLO 3:

Comunidad: XXXXX
Población abastecida: 15.000 habitantes.
Tipo de fuente: Superficial.

Paso 1. DETERMINACION DE LA CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS AL AÑO.

Tabla N° 5. CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRAS (Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de Muestras
≤ 1.000	1/trimestre
1.001 a 2.000	1/bimestre
2.001 a 5.000	1/mes
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las guías de la OMS/OPS Vol. 3

Punto	Cálculo	Número de Muestras
4 (Red)	15.000 / 5.000	3/mes

Paso 2. NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED = 3

Paso 3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

La ubicación será determinada conforme a los criterios definidos en el numeral 23 y 24 del Reglamento Nacional.

Paso 4. FRECUENCIA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL (Tabla Nº 6)

Tabla N° 6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO AL AÑO Y PARAMETROS DE CONTROL EN LOS PUNTOS 3 Y 4.

Población abastecida Hab.	Parámetros de Control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (Punto 4)	
		Fuente Superficial	Fuente Subterránea	Fuente Superficial	Fuente Subterránea
≤ 1.000	Mínimo (Tabla N°1)	Bimensual	Cuatrimestral	Trimestral	Trimestral
1000 a 2.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
2.001 a 5.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001-500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

La frecuencia de muestreo y los parámetros de control de una fuente superficial para una población de 15.000 hab., se obtienen de las Tablas Nº 5 y Nº 6 del Reglamento Nacional.

Parámetros de Control	Número de Muestras (punto 3)	Número de Muestras (punto 4)
Mínimo (Tabla Nº 1)	4/mes	3/mes
Básico (Tabla Nº 2)	Ninguna	1/mes
Complementario (TablaNº3)	Anual	Ninguna

Paso 5. RESUMEN DEL NUMERO DE MUESTRAS ANUALES, PARAMETROS DE CONTROL Y TIPO DE ANALISIS (FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS) QUE SE DEBEN REALIZAR PARA UNA POBLACIÓN DE 15.000 HABITANTES

Los Parámetros de Control se obtienen de la Tabla 6:

TABLA RESUMEN ANUAL PARA UNA POBLACION DE 15.000 HABITANTES

Parámetros de Control	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 3*	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 4	Total número de muestras a ser analizadas al año en el Sistema
	(1)	(2)	(3)
Mínimo – Tabla N° 1 (Fisicoquímico)	(4x12) = 48	(3x12) = 36	84
Mínimo – Tabla N° 1 (Bacteriológico)	(4x12) = 48	(3x12) = 36	84
Básico – Tabla N° 2 (Fisicoquímico)	0	(1x12) = 12	12
Complementario – Tabla N°3	1	0	1

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestra se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº 1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

(1) Resulta de multiplicar la frecuencia mínima de muestreo para el punto 3 (Paso 4) por 12 meses.
(2) Resulta de multiplicar el número de muestras por mes en la red (Paso 4) por 12 meses.

Nota: Parámetros de Control Especial:
En caso excepcional, por efectos de un desastre natural o contaminación provocada, se realizará los análisis de todos los Parámetros de Control Especial (Tabla Nº 4) o algunos de la misma, como se indica en el Numeral 21 del Reglamento Nacional.

COSTO REFERENCIAL ANUAL

Para una población abastecida de 15.000 habitantes:

Tipo de Análisis	No. de Muestras en el Sistema	No. de Muestras en la Red	No. de Muestras Totales	Costo Promedio por Análisis Bs.	Costo Total (Bs.)
Mínimo Fisicoquímico	48	36	84	27	2.268
Mínimo Bacteriológico	48	36	84	71	5.964
Básico Fisicoquímico	0	12	12	195	2.340
Complementario	1	0	1	5.857	5.857
				TOTAL Bs.	**16. 429**

Considerando el cambio de 1 dólar a Bs. 7.92 tenemos **US$ 2.074,37**

EJEMPLO 4:

Comunidad: XXXXX
Población abastecida: 87.139 habitantes
Tipo de fuente: Superficial.

Paso 1. DETERMINACION DE LA CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS AL AÑO.

Tabla N°5. CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS (Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de Muestras
≤ 1.000	
1.001 a 2.000	1/bimestre
2.001 a 5.000	1/mes
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las guías de la OMS/OPS Vol. 3

Punto	Cálculo	Número de Muestras
4 (red)	87.139 / 5.000	17

Paso 2. NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED = 17

Paso 3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

La ubicación será determinada conforme a los criterios definidos en los numerales 23 y 24 del Reglamento Nacional.

Paso 4. FRECUENCIA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL (Tabla N° 6)

Tabla N°6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL EN LOS PUNTOS 3 y 4.

Población abastecida Hab.	Parámetros de Control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (Punto 4)	
		Fuente Superficial	Fuente Subterránea	Fuente Superficial	Fuente Subterránea
≤ 1.000	Mínimo (Tabla N°1)	Bimensual	Cuatrimestral	Trimestral	Trimestral
1000 a 2.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
2.001 a 5.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001-500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

La frecuencia de muestreo y los parámetros de control mínimo de una fuente superficial para una población de 87.139 hab., se obtienen de las Tablas 5 y 6 del Reglamento Nacional.

Parámetro de control	Número de Muestras (punto 3)	Número de Muestras (punto 4)
Mínimo (Tabla N° 1)	30	17
Básico (Tabla N° 2)	1	1
Complementario (Tabla N° 3)	Semestral	Ninguna

Paso 5. RESUMEN DEL NUMERO DE MUESTRAS ANUALES, PARAMETROS DE CONTROL Y TIPO DE ANALISIS (FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS) QUE SE DEBEN REALIZAR PARA UNA POBLACION DE 87.139 HABITANTES.

Los Parámetros de Control se obtienen de la Tabla 6:

TABLA RESUMEN ANUAL PARA UNA POBLACION DE 87.139 HABITANTES

Parámetros de Control	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 3 *	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 4	Total número de muestras a ser analizadas al año en el Sistema
	(1)	(2)	(3)
Mínimo – Tabla N°1 (Fisicoquímico)	(30x12) = 360	(17x12) = 204	564
Mínimo – Tabla N°1 (Bacteriológico)	(30x12) = 360	(17x12) = 204	564
Básico – Tabla N°2 (Fisicoquímico)	(1x12) = 12	(1x12) = 12	24
Complementario – Tabla N°3	(2 x 1) = 2	0	2

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestra se realizará en el Punto 2 de la Figura N°1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

(1) Resulta de multiplicar la frecuencia mínima de muestreo para el punto 3 (Paso 4) por 12 meses.
(2) Resulta de multiplicar el número de muestras por mes en la red (Paso 4) por 12 meses.

Parámetro de Control Especial:
En caso excepcional, por efectos de un desastre natural o contaminación provocada, se realizará los análisis de todos los Parámetros de Control Especial (Tabla N° 4) o algunos de la misma, como se indica en el Numeral 21 del Reglamento Nacional.

COSTO REFERENCIAL ANUAL

Para la población abastecida de 87.139 habitantes:

Tipo de Análisis	No. De Muestras en el Sistema	No. de Muestras en la Red	No. de Muestras Totales	Costo Promedio por Análisis Bs.	Costo Total (Bs.)
Mínimo Fisicoquímico	360	204	564	27	15.228
Mínimo Bacteriológico	360	204	564	71	40.044
Básico Fisicoquímico	12	12	24	195	4.680
Complementario	2	0	2	5.857	11.714
				TOTAL Bs.	**71.666**

Considerando el cambio de 1 dólar a Bs. 7.92 tenemos **US$ 9.048,74**

EJEMPLO 5:

Comunidad: XXXXX.
Población abastecida: 200.000 habitantes
Tipo de fuente: Superficial

Paso 1. DETERMINACION DE LA CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS AL AÑO.

Tabla N°5. CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS (Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de Muestras
≤ 1.000	1/trimestre
1.001 a 2.000	1/bimestre
2.001 a 5.000	1/mes
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las guías de la OMS/OPS Vol. 3.

Punto	Cálculo	Número de Muestras
4 (red)	10 + 200.000/10.000	30/mes

Paso 2. NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED = 30.

Paso 3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

La ubicación será determinada conforme a los criterios definidos en los numerales 23 y 24 del Reglamento Nacional.

Paso 4. FRECUENCIA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL (Tabla N°6)

Tabla N° 6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL EN LOS PUNTOS 3 y 4

Población abastecida Hab.	Parámetros de Control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (Punto 4)	
		Fuente Superficial	Fuente Subterránea	Fuente Superficial	Fuente Subterránea
≤ 1.000	Mínimo (Tabla N°1)	Bimensual	Cuatrimestral	Trimestral	Trimestral
1000 a 2.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
2.001 a 5.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001-500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

La frecuencia de muestreo y los parámetros de control mínimo de una fuente superficial para una población de 200.000 hab., se obtienen de las Tablas 5 y 6 del Reglamento Nacional.

Parámetro de control	Número de Muestras (punto 3)	Número de Muestras (punto 4)
Mínimo (Tabla N°1)	30	30
Básico (Tabla N°2)	1	1
Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Ninguna

Paso 5. RESUMEN DEL NUMERO DE MUESTRAS ANUALES, PARAMETROS DE CONTROL Y TIPO DE ANALISIS (FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS) QUE SE DEBEN REALIZAR PARA UNA POBLACIÓN DE 200.000 HABITANTES

Los Parámetros de Control se obtienen de la Tabla 6:

TABLA RESUMEN ANUAL PARA UNA POBLACION DE 200.000 HABITANTES

Parámetros de Control	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 3*	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 4	Total número de muestras a ser analizadas al año en el Sistema
	(1)	(2)	(3)
Mínimo – Tabla N°1 (Fisicoquímico)	(30x12) = 360	(30x12) = 360	720
Mínimo – Tabla N°1 (Bacteriológico)	(30x12) = 360	(30x12) = 360	720
Básico – Tabla N°2 (Fisicoquímico)	(1x12) = 12	(1x12) = 12	24
Complementario – Tabla N°3	(2x1)= 2	0	2

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestra se realizará en el Punto 2 de la Figura N° 1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

(1) Resulta de multiplicar la frecuencia mínima de muestreo para el punto 3 (Paso 4) por 12 meses.
(2) Resulta de multiplicar el número de muestras por mes en la red (Paso 4) por 12 meses.

Parámetro de Control Especial:
En caso excepcional, por efectos de un desastre natural o contaminación provocada, se realizará los análisis de todos los Parámetros de Control Especial (Tabla 4) o algunos de la misma, como se indica en el Numeral 21 del Reglamento Nacional.

COSTO REFERENCIAL ANUAL

Para la población abastecida de 200.000 habitantes:

Tipo de Análisis	No. De Muestras en el Sistema	No. de Muestras en la Red	No. de Muestras Totales	Costo Promedio por Análisis Bs.	Costo Total (Bs.)
Mínimo Fisicoquímico	360	360	720	27	19.440
Mínimo Bacteriológico	360	360	720	71	51.120
Básico Fisicoquímico	12	12	24	195	4.680
Complementario	2	0	2	5.857	11.714

TOTAL Bs. 86.954

Considerando el cambio de 1 dólar a Bs. 7.92 tenemos **US$ 10.979,04**

EJEMPLO 6:

Comunidad: El Alto (Meseta)
Población abastecida: 550.000 habitantes
Tipo de fuente: Superficial

Paso 1. DETERMINACION DE LA CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS AL AÑO.

Tabla N°5. CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS (Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de Muestras
≤ 1.000	1/trimestre
1.001 a 2.000	1/bimestre
2.001 a 5.000	1/mes
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las guías de la OMS/OPS Vol. 3.

Punto	Cálculo	Número de Muestras
4 (red)	10 + 550.000/10.000	65

Paso 2. NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED = 65 puntos.

Paso 3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

La ubicación será determinada conforme a los criterios definidos en los numerales 23 y 24 del Reglamento Nacional.

Paso 4. FRECUENCIA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL (Tabla N°6)

Tabla N° 6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL EN LOS PUNTOS 3 y 4

Población abastecida Hab.	Parámetros de Control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (Punto 4)	
		Fuente Superficial	Fuente Subterránea	Fuente Superficial	Fuente Subterránea
≤ 1.000	Mínimo (Tabla N°1)	Bimensual	Cuatrimestral	Trimestral	Trimestral
1000 a 2.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
2.001 a 5.000	Mínimo (Tabla N°1)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001-500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

La frecuencia de muestreo y los parámetros de control mínimo de una fuente superficial para una población de 550.000 hab., se obtienen de las Tablas 5 y 6 del Reglamento Nacional.

Parámetro de control	Número de Muestras (punto 3)	Número de Muestras (punto 4)
Minimo (Tabla N°1)	30/mes	65/mes
Basico (Tabla N°2)	1/mes	1/mes
Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Ninguna

Paso 5. RESUMEN DEL NUMERO DE MUESTRAS ANUALES, PARAMETROS DE CONTROL Y TIPO DE ANALISIS (FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS) QUE SE DEBEN REALIZAR PARA UNA POBLACIÓN DE 550.000 HABITANTES

Los Parámetros de Control se obtienen de la Tabla N°6:

TABLA RESUMEN ANUAL PARA UNA POBLACION DE 550.000 HABITANTES

Parámetros de Control	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 3*	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 4	Total número de muestras a ser analizadas al año en el Sistema
	(1)	(2)	(3)
Mínimo – Tabla N°1 (Fisicoquímico)	(30x12) = 360	(65x12) = 780	1140
Mínimo – Tabla N°1 (Bacteriológico)	(30x12) = 360	(65x12) = 780	1140
Básico – Tabla N°2 (Fisicoquímico)	(1x12) = 12	(1x12) = 12	24
Complementario – Tabla N° 3	(1x2) = 2	0	2

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestra se realizará en el Punto 2 de la Figura N° 1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

(1) Resulta de multiplicar la frecuencia mínima de muestreo para el punto 3 (Paso 4) por 12 meses.
(2) Resulta de multiplicar el número de muestras por mes en la red (Paso 4) por 12 meses.

Parámetros de Control Especial:
En caso excepcional, por efectos de un desastre natural o contaminación provocada, se realizará los análisis de todos los Parámetros de Control Especial (Tabla N° 4) o algunos de la misma, como se indica en el Numeral 21 del Reglamento Nacional.

COSTO REFERENCIAL ANUAL

Para la población abastecida de 550.000 habitantes:

Tipo de Análisis	No. De Muestras en el Sistema	No. de Muestras en la Red	No. de Muestras Totales	Costo Promedio por Análisis Bs.	Costo Total (Bs.)
Mínimo Fisicoquímico	360	780	1140	27	30.780
Mínimo Bacteriológico	360	780	1140	71	80.940
Básico Fisicoquímico	12	12	24	195	4.680
Complementario	2	0	2	5.857	11.714
				TOTAL Bs.	**128.114**

Considerando el cambio de 1 dólar a Bs. 7.92 tenemos **US$ 16.176,01**

BIBLIOGRAFÍA

Norma Boliviana NB 512 – Agua Potable Requisitos – Tercera Revisión – Instituto Boliviano de Normalización y Calidad – IBNORCA – Viceministerio de Servicios Básicos -Octubre 2004.

Guías para elaborar Normas de Calidad del Agua de Bebida en los Países en Desarrollo OPS-CEPIS- 2002

Normas Oficiales para la Calidad del Agua, Perú- 1995

Guía Para la Vigilancia y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, Autor Ricardo Rojas OPS/CEPIS – 2002

Guía Para la Calidad del Agua Potable – Volumen 1: Recomendaciones OMS-1995

Guidelines for Drinking- Water Quality- Volume 2: Health Criteria and other Supporting Information WHO- 1996

Guías Para la Calidad del Agua Potable- volumen 3: Vigilancia y Control de los Abastecimientos de Agua a la Comunidad OMS-1998.

AGRADECIMIENTO

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas, a través del Viceministerio de Servicios Básicos, expresa su agradecimiento al Programa de Saneamiento Básico para Pequeños Municipios 1050/SF-BO “PROAGUAS”, a todas las instituciones, organizaciones y profesionales que de manera desinteresada hicieron posible la elaboración de este documento.

VSB: Viceministerio de Servicios Básicos

El VSB, creado por Decreto Supremo N° 25055, Decreto Reglamentario de la Ley N° 1788 "Ley de Organización del Poder Ejecutivo (LOPE), del 16 de septiembre de 1997, con el propósito de promover el mejoramiento de la calidad de vida de la población boliviana a través de la dotación de servicios sostenibles de agua potable y saneamiento y gestión de residuos sólidos. El VSB tiene las siguientes funciones y atribuciones:

- Formular, ejecutar y controlar políticas y normas sectoriales destinadas al desarrollo e instalación de los servicios básicos para mejorar las coberturas mediante planes y programas de inversión, compatibilizando las necesidades y prioridades regionales.
- Promover y proponer la discusión de normas de diseño y uso de tecnología apropiada, para alcanzar mayor cobertura en los servicios, controlando su aplicación y apoyando la investigación tecnológica.
- Efectuar el seguimiento al cumplimiento de los programas de saneamiento básico, en el marco del Plan Sectorial correspondiente.
- Mantener un sistema de información sectorial actualizando a nivel nacional y departamental.
- Diseñar y realizar programas de capacitación y formación de recursos humanos, en administración, operación, mantenimiento, educación sanitaria y participación comunitaria.
- Elaborar programas de desarrollo institucional supervisando su ejecución y apoyando su aplicación en el sector.
- Velar por el cumplimiento de la política tarifaría en los servicios de saneamiento Básico.

Revisión.

El presente Reglamento Nacional está sujeto a ser revisado periódicamente, con el objeto, de que responda permanentemente a las necesidades y exigencias del sector.

Características de aplicación.

Este Reglamento Nacional se constituye en instrumento de ordenamiento tecnológico, orientado a aplicar criterios de calidad, su utilización es de carácter obligatorio y un compromiso conciencial y de responsabilidad de las instituciones, EPSAs, y profesionales que trabajan en el Sector.

Información sobre Normas y Reglamentos Técnicos.

El VSB dispone de normas y reglamentos técnicos para la implementación de proyectos sostenibles de saneamiento básico. Para facilitar el acceso de los profesionales, técnicos e institución a las diferentes normas y reglamentos técnicos, el VSB ha habilitado en su página WEB un espacio de "Normas Técnicas", donde se encuentran en archivos (PDF) las distintas normas y reglamentos técnicos del Sector.

Derechos de Propiedad.

El VSB tiene el derecho de propiedad de todas sus publicaciones, en consecuencia la reproducción total o parcial de este Reglamento Nacional, con fines comerciales, queda completamente prohibida.

Ministerio de Servicios y Obras Públicas
Viceministerio de Servicios Básicos
Av. Mariscal Santa Cruz Edif. Centro de Comunicaciones, piso 14
Telf.: (591-2) 231 3292 - 231 1010
Web: www.sias.gov.bo
La Paz- Bolivia

Formato Normalizado A4 (210 mm. x 297 mm.) Conforme a Norma Boliviana NB 723001 (NB 029)

Reglamento Nacional NB 512

ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

MMAyA
Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano

Segunda Revisión
Diciembre 2010

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA
VICEMINISTERIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO

Calle Capitán Castrillo Nº 434
entre Av. 20 de Octubre y
calle Héroes del Acre
Teléfono: (591-2) 2115571
Fax: (591-2) 2116124

DERECHOS RESERVADOS
Documento del Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Se autoriza la reproducción parcial o total, haciendo referencia a la fuente.

SEGUNDA REVISION
Comité Técnico Normalizador Nº 3.1 “Agua Potable” – IBNORCA

RE- EDICIÓN E IMPRESIÓN:
Arteria Producciones
Telf: 2490396 – Cel. 79109869 – 72518411
c. Boquerón 1512 – San Pedro
www.arteriaproducciones.com

La Paz, Bolivia
Diciembre, 2010

Reglamento Nacional NB 512

Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano

Segunda revisión

Diciembre 2010

Prefacio

La revisión y actualización del Reglamento de la NB 512, denominado; “Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”, en su segunda revisión, fue elaborado a cargo de la Unidad de Normas y Desarrollo Comunitario del Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, encomendado al Comité Técnico Normalizador Nº 3.1 “Agua Potable” de IBNORCA, integrado por las siguientes instituciones y personas:

REPRESENTANTE	**INSTITUCIÓN**
Roger Yugar Yugar	MMA y A / VAPSB (Coordinador)
Ronny Vega	ANESAPA
Edwin Astorga Sanjines	IIS y A – UMSA
Gualberto Gutiérrez Valdivia	FNI – UTO
Danna Lara	OPS/OMS
Edgar Paniagua	AAPS
Jorge Chávez	AAPS
Jose Luís Castagne	ABIS
Jorge Guerrero	INLASA
Magnolia Fuentes Antezana	EMAGUA
Pedro Medina	MINISTERIO DE SALUD Y DEPORTES
Mario Villagra	MINISTERIO DE SALUD Y DEPORTES
Orlando Quispe	EPSAS
Yoshinori Fukushima	JICA – ASVI
Luís Lara	HANNA BOLIVIA
Verónica Salazar I.	IBNORCA

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº Nº 104

La Paz 11 DIC 2007

CONSIDERANDO:

Que, el literal e) del Artículo 3º de la Ley Nº 3351, de 2 de febrero de 2006, Ley de Organización del Poder Ejecutivo, establece como atribución general de los Ministros: "Dictar normas relativas al ámbito de su competencia y resolver en última instancia, todo asunto administrativo que corresponda al Ministerio".

Que, el literal c) del Artículo 4º de la Ley Nº 3351 Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de 21 de febrero de 2006, establece que es atribución específica del Ministro del Agua, plantear y ejecutar, evaluar y fiscalizar las políticas y planes de servicio de agua potable y saneamiento básico, riego y manejo de cuencas, aguas internacionales y transfronterizas.

Que el Artículo 61 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, establece que en la estructura del Ministerio del Agua, es la siguiente: Viceministerio de Servicios Básicos, Viceministerio de Riego y Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos.

Los literales d) y e) del Artículo 63 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, dispone que son funciones del Viceministro de Servicios Básicos, entre otras, las siguientes: d) Promover normas técnicas, disposiciones reglamentarias e instructivos para el buen aprovechamiento y regulación de los servicios básicos y proponer por conducto regular proyectos de leyes y otras disposiciones para el sector; e) Difundir y vigilar la aplicación de políticas, planes, proyectos y normas técnicas para el establecimiento y operación de los servicios básicos, ejerciendo tuición sobre la Superintendencia de Saneamiento Básico.

Que, el objetivo fundamental de la Norma y sus Reglamentos Técnicos es estandarizar el diseño y optimizar costos de inversión para permitir el acceso a los servicios de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales a un mayor número de personas, priorizando sectores sociales de menores ingresos económicos.

Que, la Norma y sus Reglamentos Técnicos recogen en la presente versión experiencias de la práctica moderna de la ingeniería sanitaria y de la utilización de tecnologías alternativas en el país, transmitida y consensuada mediante un proceso de amplia participación y consulta con profesionales del país.

Que, es necesaria la edición, reimpresión y difusión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, para permitir su aplicación por parte de los profesionales del sector con carácter obligatorio en el ámbito urbano y rural del país.

MINISTERIO DEL AGUA V°B° C.E.S. D.G.A.J.

MINISTERIO DEL AGUA V°B° C.G.T. D.G.A.J.

Calle Capitán Castrillo Nº 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

Que, de acuerdo a los Informes VSB/UNI 016/2007 y VSB/UNI – 21/07, la Unidad de Normas e Institucionalidad, del Viceministerio de Servicios Básicos del Ministerio del Agua, recomienda la edición e impresión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, solicitando dar curso a la aprobación de la norma precitada así como a sus reglamentos.

POR TANTO:

El Ministro del Agua, en aplicación de sus atribuciones conferidas por ley.

RESUELVE:

Artículo 1º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "A".

Artículo 2º.- Aprobar los Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable, en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "B"

Artículo 3º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "C".

Artículo 4º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "D".

Artículo 5º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras", que forman parte de la presente Resolución como Anexo "E".

Artículo 5º.- Aprobar el Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, que forman parte integrante de la presente Resolución como Anexo "F".

Artículo 6º.- La Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, aprobadas mediante la presente Resolución Ministerial, deberán ser obligatoriamente aplicadas en todo el territorio nacional, por instituciones y profesionales del sector, en el diseño de sistemas de agua potable.

Artículo 7º.- Se autoriza al Viceministerio de Servicios Básicos para que en coordinación con la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua proceda a la edición, reimpresión, difusión y distribución en forma gratuita de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, a Municipios, Entidades e Instituciones públicas y privadas, bibliotecas universitarias, sociedades de profesionales, programas y proyectos del sector y otros priorizados por el Viceministerio de Servicios Básicos.

Artículo 8º.- El Viceministerio de Servicios Básicos y la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 9º.- Se abroga la Resolución Ministerial Nº 230/2004, de 07 de septiembre de 2004, emitida por el Ministerio de Servicios y Obras Publicas. Quedan abrogadas y derogadas todas las resoluciones contrarias a la presente Resolución Ministerial.

Regístrese, comuníquese, cúmplase y archívese.

Alcides Franco Tortico
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS M.A.
MINISTERIO DEL AGUA

Walter Valda Rivera
MINISTRO DEL AGUA

Calle Capitán Castrillo Nº 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

PRESENTACION

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua, a través del Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, en el marco de sus competencias normativas, pone a disposición de profesionales y técnicos del sector agua y saneamiento, el presente Reglamento NB 512, denominado, Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano".

Este Reglamento tiene por objeto asegurar que la calidad del agua para consumo humano que es distribuido por las EPSA, sea de calidad aceptable y no dañe la salud de la población, estableciendo parámetros aceptables de calidad del agua, los mismos deben ser conocidos y aplicados por las EPSA en todo el Estado Boliviano.

La elaboración del presente documento fue posible gracias a la participación de profesionales e instituciones del sector, que de manera desinteresada aportaron con su conocimiento para que se cuente con este importante instrumento normativo.

REGLAMENTO NACIONAL PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO - NB 512

INDICE Página

CAPITULO I	DISPOSICIONES GENERALES.....	11
CAPITULO II	MARCO INSTITUCIONAL.....	16
CAPITULO III	DEL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO……..	18
CAPITULO IV	DE LAS EXCEPCIONES……..	31
ANEXOS 1	PLANILLAS DE REGISTRO DE INFORMACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA	
PLANILLA N°1	HOJA DE IDENTIFICACIÓN…….....	35
PLANILLA N°2	REGISTRO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA Y EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO……...	36
PLANILLA N°3	CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN……	37
PLANILLA N°4	CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO……	38
PLANILLA N°5	CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN……	39
ANEXO 2	EJEMPLOS DE APLICACIÓN	
EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL REGLAMENTO NACIONAL PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO……		43
BIBLIOGRAFÍA ……		62

CAPÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

1.- OBJETO. Reglamentar la Norma Boliviana NB 512 Agua Potable – Requisitos, en cuanto se refiere a la calidad física, química, microbiológica, organoléptica y radiactiva del agua destinada al consumo humano, estableciendo las condiciones que deben cumplir las Entidades Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (EPSA) a nivel nacional.

2.- CAMPO DE APLICACIÓN. Están sometidas al presente Reglamento Nacional las EPSA cualquiera sea su forma de constitución (municipal, sociedad anónima mixta, privada, cooperativa, asociación civil, pueblos indígenas y originarios y comités de agua) encargadas de prestar servicios de agua potable y alcantarillado sanitario. Asimismo, las instituciones públicas y privadas que realizan actividades de control y vigilancia de la calidad del agua a nivel nacional.

3.- DEFINICIONES. Para la aplicación del presente Reglamento, se establecen las siguientes definiciones:

3.1 Agua potable

Aquella que por sus características organolépticas, físico-químicas, microbiológicas y radiactivas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en la NB 512 y el presente Reglamento.

3.2 Conexión domiciliaria de agua potable

Conjunto de tuberías y accesorios que permiten la conducción del agua desde la red de distribución hasta el límite de propiedad del inmueble.

3.3 Fuentes de abastecimiento de agua

Depósitos o cursos naturales de agua, superficiales o subterráneos.

3.4 Índice de Langelier

Es la diferencia entre el pH real (medido) de un agua y el pH hipotético si el agua estuviera en equilibrio con carbonato de calcio sólido.

3.5 Insumos químicos

Productos químicos utilizados en el tratamiento y desinfección del agua.

3.6 Laboratorio acreditado

Centro o lugar donde se realizan los análisis fisicoquímicos y microbiológicos con procedimientos normalizados aceptados y que cuente con acreditación del órgano oficial competente.

3.7 Medida temporal

Dictamen otorgado por autoridad competente y en coordinación con los sectores involucrados, por un período de tiempo (máximo 6 meses), sin que ello signifique peligro

para la salud de los consumidores, previa constatación que el deterioro de la calidad del agua, es producto de una situación de fuerza mayor.

3.8 Parámetro

Nombre del elemento o variable a medirse mediante un procedimiento analítico de laboratorio.

3.9 Planta de tratamiento de agua

Conjunto de obras civiles, instalaciones y equipos convenientemente dispuestos para llevar a cabo procesos y operaciones unitarias que permitan obtener agua de calidad apta para consumo y uso humano. Se denomina también planta potabilizadora de agua.

3.10 Punto de muestreo

Lugar físico de donde se extrae una muestra representativa de agua.

3.11 Red de distribución

Conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten la entrega del agua a los consumidores.

3.12 Riesgo en salud

Probabilidad de ocasionar daño a la salud de los consumidores, debido a una operación defectuosa o contaminación en el sistema de abastecimiento de agua.

3.13 Sistema de agua potable

Es un conjunto de estructuras, equipos, accesorios e instalaciones que tienen por objeto transformar la calidad del agua y transportarla desde la fuente de abastecimiento hasta los puntos de consumo, en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión.

3.14 Tanque de almacenamiento

Depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución, destinado a almacenar agua y/o mantener presiones adecuadas en la red de distribución.

3.15 Usuario (consumidor)

Toda persona natural o jurídica, pública o privada que utiliza los servicios de agua para realizar sus actividades.

3.16 Valor máximo aceptable

Valor máximo de concentración permitido para los parámetros definidos en la NB 512 y el presente Reglamento.

3.17 Vigilancia de la calidad del agua

Proceso continuo y sistemático de información, análisis, interpretación y difusión de la información relacionada con la identificación, notificación, medición, determinación de causas de enfermedades y prevención de muertes vinculadas con la calidad del agua de

consumo humano, con el propósito de formular estrategias de promoción y prevención adecuadas.

3.18 Zona de abastecimiento de agua

Comprende una de las partes de la red de distribución, con características y condiciones homogéneas de operación, funcionamiento, calidad, cantidad, continuidad y presión.

SIGLAS Y ABREVIATURAS

APHA
American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water Wastewater.

AAPS
Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico. (Entidad Reguladora)

ASTM
American Society for Testing and Materials

AWWA
American Water Work Association.

DTA
Dirección Técnica de Acreditación

EPSA
Entidad Prestadora de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario.

IBMETRO
Instituto Boliviano de Metrología

IBNORCA
Instituto Boliviano de Normalización y Calidad.

MMAyA
Ministerio de Medio Ambiente y Agua

MSD
Ministerio de Salud y Deportes

MOPSV
Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda

VAPSB
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico.

WPCF
Water Pollution Control Federation. Su sigla actual también es WEF - Water Environmental Federation.

OTRAS SIGLAS TÉCNICAS UTILIZADAS

Bq
Bequerelio, unidad de medición de la radiactividad

ECD
Electrón Capture Detector

ICP
Inductively Coupled Plasma = Plasma Inductivamente Acoplado

IR
Infrarrojo (Espectrofotómetro)

NPD
Nitrogen Phosphorus Detector

STD
Sólidos Totales Disueltos

UCV
Unidades de Color Verdadero

UFC
Unidades Formadoras de Colonias

UNT
Unidad Nefelométrica de Turbiedad

UV
Ultravioleta (Espectrofotómetro)

4.- USO OBLIGATORIO DEL REGLAMENTO. Las EPSA a nivel nacional y las instituciones públicas y privadas que realizan actividades de control y vigilancia de la calidad del agua, deberán hacer uso obligatorio de la Norma Boliviana NB 512 y el presente Reglamento.

Asimismo, la Entidad Reguladora, y/o la institución delegada por la misma, efectuará la notificación correspondiente a las EPSA solicitando la adecuación y/o el cumplimiento del presente reglamento, considerando las características de desarrollo, capacidad operativa y financiera, la evaluación de los parámetros actualmente analizados, número de muestras al mes y frecuencias de muestreo.

Sobre la base de las consideraciones indicadas anteriormente, la Entidad Reguladora, definirá con cada EPSA el plazo para la aplicación del presente Reglamento en forma gradual, en función a las características de desarrollo de cada EPSA.

5.- CALIDAD DE LOS SERVICIOS. De acuerdo a lo que señala el Artículo 21 de la Ley Nº 2066, las EPSA, están obligadas a garantizar la calidad de los servicios que reciben los usuarios.

6.- CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA. Las EPSA son las responsables del control de la calidad del agua suministrada de acuerdo con la Norma Boliviana NB 512 y el presente Reglamento.

7.- SEGUIMIENTO Y FISCALIZACION. El seguimiento y la fiscalización del control de la calidad del agua realizados por las EPSA, de acuerdo a disposiciones y legislación vigente, serán efectuadas por la Entidad Reguladora o la institución delegada por la misma.

La responsabilidad de las EPSA en cuanto al control de calidad del agua para consumo humano, llega hasta la conexión domiciliaria, donde se ubica el medidor de agua o válvula de paso, o en su defecto hasta el grifo más cercano a la conexión o hasta la descarga a un tanque de almacenamiento domiciliario, estando exentas del control en la instalación interna.

En sistemas de abastecimiento de agua que incluyan piletas públicas, surtidores de camiones cisterna o tanques públicos de distribución de agua, la responsabilidad de las EPSA llega hasta el punto de abastecimiento de las referidas obras siempre y cuando se encuentren bajo su administración.

8.- DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CALIDAD DE LAS TUBERIAS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Con la finalidad de garantizar la calidad del agua para consumo humano, el diseño, la construcción, las tuberías y los materiales empleados en los sistemas de abastecimiento de agua potable, deben cumplir con las disposiciones contenidas en la Norma Boliviana NB 689, calidad de tuberías certificadas por IBNORCA, normas de materiales de saneamiento básico y demás instrumentos normativos que para el efecto establece el Ministerio o la Entidad Normativa del Sector.

CAPITULO II

MARCO INSTITUCIONAL

9.- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA (MMAyA). En el ámbito de las competencias conferidas al nivel central por la Constitución Política del Estado, formula y ejecuta una política integral de los recursos hídricos, garantizando el uso adecuado y sustentable del agua en todos sus estados.

10.- VICEMINISTERIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÀSICO. Como cabeza del sector en el marco de las atribuciones conferidas por la Constitución Política del Estado, coadyuva en la formulación de normas sectoriales, promoviendo e impulsando políticas, planes, programas y proyectos, así como gestión de financiamiento para los servicios de saneamiento básico.

11.- MINISTERIO DE SALUD Y DEPORTES (MSD). Ente rector de las Políticas de salud y deportes, establece los lineamientos básicos y la vigilancia de la normativa.

12.- GOBIERNO DEPARTAMENTAL AUTÒNOMO. Dentro de sus atribuciones coadyuva al nivel central del Estado en la asistencia técnica y la planificación de los servicios básicos de agua potable y alcantarillado sanitario, de acuerdo a la Ley Marco de Autonomías y Descentralización Nº 031 y las normas sectoriales.

12. 1.- SERVICIO DEPARTAMENTAL DE SALUD (SEDES). Los SEDES de todo el país, coadyuvan la vigilancia de la calidad del agua destinada al abastecimiento de la población del país y todo aspecto vinculado que constituya riesgo para la salud, de acuerdo a las Leyes y normas vigentes para este efecto.

13.- GOBIERNO MUNICIPAL AUTÒNOMO. La Constitución Política del Estado en su Art. 302 atribuye competencias en su jurisdicción respecto a los servicios básicos, concordante con La Ley Marco de Autonomías y Descentralización en su Art. 83, para los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario.

14.- AUTORIDAD DE FISCALIZACIÒN Y CONTROL SOCIAL EN AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO (AAPS). Institución que fiscaliza, controla, supervisa y regula las actividades de agua potable y alcantarillado, en el marco de las atribuciones y obligaciones delimitadas en el Art. 24 del Decreto Supremo Nº 0071 de fecha 9 de abril de 2009.

15.- ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO (EPSA). Persona jurídica que presta uno o más servicios de agua potable y alcantarillado sanitario y que tiene alguna de las siguientes formas de constitución:

a) Empresa Pública Municipal dependiente de uno o más Gobiernos Municipales Autónomos.

b) Sociedad anónima Mixta

c) Cooperativa de Servicios Públicos

d) Asociación Civil

e) Naciones y pueblos indígena originario campesinos, asociaciones, organizaciones y sindicatos campesinos.

f) Comités de agua, pequeños sistemas urbanos independientes, juntas vecinales y cualquier otra organización reconocida por la Constitución Política del Estado, excepto los Gobiernos Municipales Autónomos.

CAPÍTULO III

DEL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

17.- PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA. En atención a la Norma Boliviana NB 512, los parámetros de control de calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se agrupan de acuerdo a su factibilidad técnica y económica en los siguientes grupos: Control Mínimo, Control Básico, Control Complementario y Control Especial.

18.- PARÁMETROS DE CONTROL MÍNIMO. Los parámetros de Control Mínimo de la calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se presentan en la Tabla Nº 1.

Tabla Nº 1. PARÁMETROS DE CONTROL MÍNIMO

Parámetro	Valor máximo aceptable
pH	6,5 – 9,0
Conductividad	1.500 µS/cm*
Turbiedad	5 UNT
Cloro residual	0,2 – 1,0 mg/l
Coliformes termoresistentes**	< 1 UFC/100 ml
*Escherichia coli***	< 1 UFC/100ml < 2 NMP/100ml

* El valor máximo aceptable de la conductividad, se puede expresar también como 1.000 mg STD/l.

** Para el cumplimiento del Control Mínimo, es suficiente realizar uno de estos dos ensayos, ya que ambos identifican la presencia de bacterias.

La temperatura, se debe medir en el punto de muestreo y en laboratorio a tiempo de realizar los análisis. Sirve como referencia para los análisis microbiológicos y para el cálculo del Índice de Langelier.

19.- PARÁMETROS DE CONTROL BÁSICO. Los parámetros de Control Básico de la calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se presentan en la Tabla Nº 2.

Tabla Nº 2. PARÁMETROS DE CONTROL BÁSICO

Parámetro	Valor máximo aceptable
Físicos	
Color	15 UCV
Químicos	
Sólidos totales disueltos	1.000 mg/l
Químicos Inorgánicos	
Alcalinidad total	370,0 mg/l de CaCO3
Calcio	200,0 mg/l
Cloruros	250,0 mg/l
Dureza	500,0 mg/l de CaCO3
Hierro total	0,3 mg/l
Magnesio	150,0 mg/l
Manganeso	0,1 mg/l
Sodio	200,0 mg/l
Sulfatos	400,0 mg/

20.- PARÁMETROS DE CONTROL COMPLEMENTARIO. Los parámetros de Control Complementario de la calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se presentan en la Tabla Nº 3.

Tabla Nº 3. PARÁMETROS DE CONTROL COMPLEMENTARIO

Parámetro	Valor máximo aceptable
a) Químicos Inorgánicos	
Aluminio	0,1 mg/l
Amoníaco	0,5 mg/l
Arsénico	0,01 mg/l
Boro	0,3 mg/l
Cobre	1,0 mg/l
Fluoruro	1,5 mg/l
Nitritos	0,1 mg/l
Nitratos	45,0 mg/l
Plomo	0,01 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
b) Microbiológicos	
Bacterias	
Coliformes totales	< 1 UFC/100 ml
Escherichia coli	< 1 UFC/100 ml
Heterotróficas	500 UFC/100 ml
Pseudomonas aeruginosa	< 1 UFC/100 ml
Clostridium perfringens	< 1 UFC/100 ml
Parásitos	
Cryptosporidium sp.	Ausencia
Giárdia sp.	Ausencia
Amebas	Ausencia

21.- PARÁMETROS DE CONTROL ESPECIAL. Los parámetros de Control Especial de la calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se presentan en la Tabla Nº 4. Estos parámetros serán realizados en situaciones de desastre o en casos especiales de acuerdo con el historial de la fuente y/o región, o cuando así lo vean por conveniente las EPSA y/o la Autoridad Reguladora del sector.

Tabla Nº 4. PARÁMETROS DE CONTROL ESPECIAL

Parámetro	Valor máximo aceptable
Químicos Inorgánicos	
Antimonio	0,005 mg/l
Bario	0,7 mg/l
Cadmio	0,005 mg/l
Cianuro	0,07 mg/l
Cromo Total	0,05 mg/l
Mercurio	0,001 mg/l
Níquel	0,05 mg/l
Sabor y olor	Aceptable
Selenio	0,01 mg/l
Subproductos de la Desinfección	
Trihalometanos totales (THM)	100 µg/l

Químicos Orgánicos	
Plaguicidas	
Plaguicidas totales	0,5 µg/l
Plaguicidas individuales(*)	0,1 µg/l
Hidrocarburos	
Hidrocarburos totales (TPH)	10,0 µg/l
Benceno	2,0 µg/l
Tolueno	700,0 µg/l
Etilbenceno	300,0 µg/l
Xileno	500,0 µg/l
Benzo(a)pireno	0,2 µg/l
Radiactivos	
Radiactividad alfa global	0,10 Bq/l (**)
Radiactividad beta global	1,0 Bq/l (**)
Químicos Orgánicos	
Acrilamida	0,5 µg/l
Epiclorohidrina	0,4 µg/l
Cloroformo	100,0 µg/l
Cloruro de vinilo	2,0 µg/l
Fenol	2,0 µg/l

Guías de la OPS/OMS 1995

(*) Existen plaguicidas cuyos valores individuales pueden superar el valor máximo aceptable individual o la suma de sus valores individuales superar el valor máximo total.

(**) Bq = Bequerelio

22.- NÚMERO MÍNIMO DE MUESTRAS EN LA RED. Las EPSA, determinarán en la red de distribución, el número mínimo de muestras en función de la población abastecida, empleando la Tabla Nº 5

Tabla Nº 5. CANTIDAD MÍNIMA DE PUNTOS DE MUESTREO PARA LOS PARÁMETROS DE CONTROL MÍNIMO (Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de muestras / frecuencia
≤ 1.000	1/semestre
1.001 a 2.000	1/ cuatrimestre
2.001 a 5.000	1/ bimestre
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las Guías de la OPS/OMS - Vol. 3

23.- NÚMERO MÍNIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN RED. Para poblaciones mayores a 5.000 habitantes, el número mínimo de puntos de muestreo semanales en la red de distribución resulta de la división de la cantidad obtenida de la Tabla Nº 5 entre cuatro (4). En caso de obtenerse un resultado decimal se redondeará al número inmediato superior (ejemplo: 2,3 = 3).

Para poblaciones menores a 5.000 habitantes el número mínimo de puntos de muestreo será el obtenido de la Tabla Nº 5, no siendo necesario dividir entre cuatro (4).

24.- UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED. Sobre la base del valor establecido en el numeral 23, las EPSA deben ubicar en la red de distribución los puntos de muestreo, aplicando los siguientes criterios:

- Deben ser uniformemente distribuidos e incluir zonas geográficas con riesgo de contaminación, puntos de baja presión, alta densidad poblacional, tramos finales de tuberías, etc.
- Deben ser representativos de la zona de abastecimiento.
- Deben ser proporcionales a la población abastecida.
- En redes cuya antigüedad es mayor al tiempo de su vida útil.

De acuerdo con las consideraciones anteriores, existe la posibilidad que el número de puntos de muestreo establecido en la red puede ser mayor al obtenido en el numeral 23.

25.- TOMA DE MUESTRAS. Las EPSA, deben tomar muestras de agua en la red de distribución de acuerdo al número de puntos de muestreo obtenido en la Tabla Nº 5 y el numeral 23. Cuando el número de puntos de muestreo establecidos de acuerdo al numeral 24 sea mayor al obtenido en el numeral 23, los muestreos semanales en los puntos establecidos pueden ser rotativos, respetando así la cantidad de muestras definidas.

En la Figura Nº 1 se indica la ubicación referencial de los puntos de muestreo en un sistema de abastecimiento de agua. En sitios donde no exista Planta de Tratamiento (punto 2 de la Figura Nº 1) la toma debe realizarse a la salida del Tanque (punto 3).

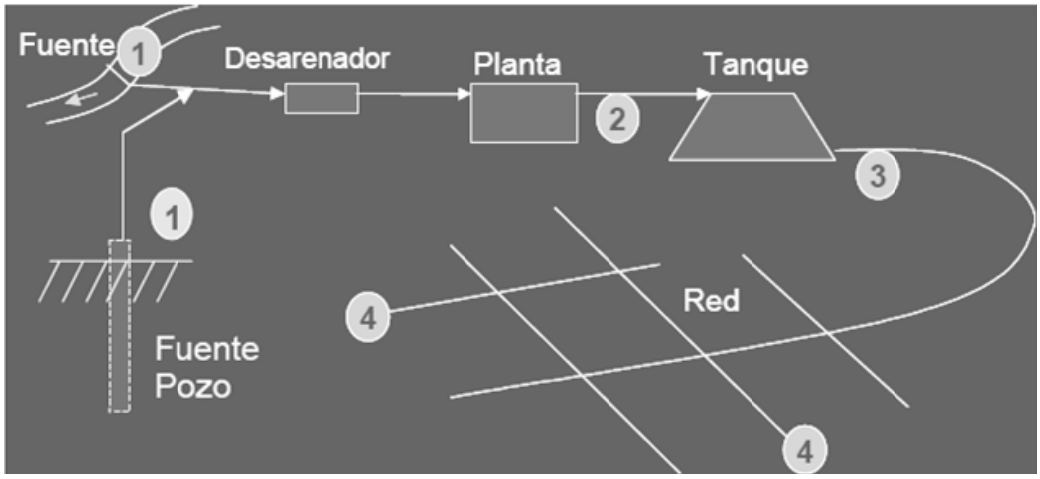


Figura Nº 1. UBICACIÓN REFERENCIAL DE PUNTOS DE MUESTREO

26.- CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO. Los puntos de muestreo deben permitir la toma de muestras representativas de la calidad del agua suministrada por las EPSA.

a) En Fuentes de agua.

b) En Plantas de tratamiento, después de la desinfección y antes de la red.

c) En la Red de distribución, el grifo de muestreo debe ser de uso continuo y estar situado lo más próximo a la conexión domiciliaria controlada por las EPSA y libre de la influencia de un tanque de almacenamiento subterráneo, tanque elevado o cualquier otro tipo de almacenamiento de agua intradomiciliario.

27.- FRECUENCIAS DE MUESTREO. La Tabla Nº 6 presenta la frecuencia mínima de muestreo al año que deben realizar las EPSA para el control de la calidad del agua. Para el efecto se debe considerar la población abastecida, los parámetros de control (Tablas Nº 1 a Nº 4) y la ubicación de los puntos de muestreo.

28.- MODIFICACIÓN DE FRECUENCIAS DE MUESTREO. Se define como modificación de frecuencias de muestreo tanto al incremento como a la reducción del número de muestras a ser tomadas del o los parámetros en consideración.

29.- INCREMENTO DE FRECUENCIAS DE MUESTREO. Las EPSA, procederán con el incremento de frecuencias de muestreo, en los siguientes casos:

a) Si el resultado de los análisis obtenidos, para cualquier parámetro ha sido excedido bajo condiciones normales de operación o bajo condiciones meteorológicas adversas.

b) Si el resultado de los análisis ha demostrado que el valor máximo aceptable de cualquier parámetro ha sido excedido, en más de tres muestras consecutivas.

La EPSA debe incrementar la frecuencia de muestreo del parámetro en cuestión, las veces que sea necesario hasta que el problema haya sido controlado y el riesgo previsible sea bajo, de lo contrario deberá suspender el servicio y comunicar a la autoridad competente o a la institución delegada por la misma, los detalles del problema, la solución y/o las acciones a ser realizadas.

30.- DECREMENTO DE FRECUENCIAS DE MUESTREO. Si durante dos años consecutivos, el resultado de los análisis de los parámetros de Control Básico y Control Complementario (Tablas Nº 2 y Nº 3) tiene valores por debajo de lo establecido en la NB 512, las EPSA podrán tramitar ante la autoridad competente, de acuerdo a normativa vigente, que la frecuencia de muestreo a ser tomada en el siguiente año con respecto a aquel parámetro, para la Tabla Nº 2 y Tabla Nº 3 será de forma anual. Esta modificación no es aplicable a los parámetros microbiológicos.

Tabla Nº 6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO AL AÑO Y PARAMETROS DE CONTROL

Población abastecida (hab.)	Parámetro de control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (punto 4)	
		Fuente superficial	Fuente subterránea	Fuente superficial	Fuente subterránea
≤ 1.000	Mínimo (tabla Nº1)	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral
1.001 a 2.000	Mínimo (tabla Nº1)	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral
2.001 a 5.000	Mínimo (tabla Nº1)	Bimensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001- 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 (salida de la Planta de Tratamiento).

31.- CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DE CALIDAD. Los requisitos de calidad que deberán cumplir las EPSA con relación al agua para consumo humano son:

a) En el curso de un año, el 90 por ciento (90%) de los resultados de los análisis correspondientes a los compuestos que afectan la calidad organoléptica, física y química del agua de consumo humano y que se encuentran detallados en las Tablas Nº 1, Nº 2 y Nº 3 del presente Reglamento, no deben exceder las concentraciones o valores establecidos en la Norma Boliviana NB 512.

b) Durante el período de un año el contenido de Coliformes termoresistentes por 100 mililitros del total de muestras tomadas a la salida de la planta de tratamiento, tanques de almacenamiento y red de distribución de las zonas de abastecimiento de agua, deben cumplir lo siguiente:

   El 95 por ciento (95%) de las muestras analizadas, no deben contener coliformes termoresistentes.

c) Cuando la concentración de cloro residual sea menor a 0.2 mg/l en un punto terminal de la red, se procederá a tomar una muestra de agua para análisis bacteriológico de coliformes termoresistentes.

d) La realización de los análisis de parámetros de Control Especial descritos en la Tabla Nº 4, serán realizados por las EPSA cuando se identifique, sospeche y/o exista denuncia de que la fuente para el consumo de agua haya sufrido contaminación.

32.- MEZCLA DE FUENTES DE AGUA. La frecuencia de muestreo en caso de mezcla de fuentes de agua subterránea y superficial, será determinada considerando la mezcla como agua superficial.

33.- CONTROL EN LA SELECCIÓN DE LA FUENTE. Las EPSA deben realizar un análisis de la calidad del agua de la fuente de acuerdo con las Tablas Nº 1, Nº 2 y Nº 3 del presente Reglamento, tomando en cuenta la NB 689 y su Reglamentación, al inicio de las actividades y/o durante el proceso de selección de la fuente. En caso de excederse los valores máximos aceptables, las EPSA deben considerar los costos de tratamiento y sus posibilidades tecnológicas en función de los valores de los parámetros, o desechar la fuente para evitar posteriores inconvenientes.

Nota: De existir diferencia entre la normativa sectorial, prevalece la norma más recientemente actualizada.

34.- CONTROL PERIODICO EN FUENTE. Las EPSA de forma rutinaria tomando como guía los parámetros de la NB 512, NB 689 y el Reglamento de Recursos Hídricos de la Ley 1333, deben realizar un control periódico de la calidad del agua de la fuente (Figura Nº 1, Punto 1) en época de estiaje y época de lluvias (2 veces / año) y/o en caso de que se realice una mezcla de fuentes, de tal manera que permita controlar la calidad de la fuente de agua y/o la eficiencia del proceso de tratamiento.

35.- PROCEDIMIENTO DE MUESTREO. Las EPSA, deben garantizar que el muestreo, manipuleo, preservación, transporte, almacenaje y el análisis de la muestra sean realizados de acuerdo a la Norma Boliviana NB 496 “Agua Potable – Toma de Muestras”. A continuación se mencionan los requisitos más relevantes:

a) Que los frascos de muestreo sean preparados de acuerdo con los procedimientos que se utilizan para la toma de muestras.
b) Que la muestra sea representativa de la calidad de agua de la fuente o zonas de abastecimiento a tiempo de tomar la muestra.
c) Que la muestra no sea contaminada durante el muestreo.
d) Que la muestra sea mantenida a una temperatura y condiciones asegurando que no se presente ninguna alteración natural del valor o concentración, para la medición u observación a la cual la muestra esté destinada.
e) Que la muestra sea tomada por una persona capacitada y con experiencia en la toma de muestras de agua.
f) Que la muestra sea analizada tan pronto como sea posible en un plazo no mayor a 48 horas después de su toma y de acuerdo con Procedimientos Normalizados (PNO).
g) Para variables no conservativas el análisis se realiza in-situ.

36.- METODOS ANALÍTICOS DE REFERENCIA.- Las determinaciones analíticas de los parámetros indicados en la reglamentación, deben ejecutarse de acuerdo y siguiendo normas vigentes, tomando como referencia métodos estándar de análisis publicados por APHA, AWWA, WPCF, ASTM DIN o lo señalado en la Tabla Nº 7. Métodos Analíticos de Referencia.

Tabla Nº 7. MÉTODOS ANALÍTICOS DE REFERENCIA

Parámetro	Método de análisis
Parámetros organolépticos	
Color	Espectrofotométrico. colorimétrico
Turbiedad	Nefelométrico, Jackson
Olor	Número umbral
Sabor	Número umbral
Parámetros físicos- químicos	
pH (ión hidronio)	Electrométrico
Conductividad	Electrométrico
Alcalinidad	Volumétrico
Sulfato	Nefelométrico Cromatografía de iones Gravimétrico
Cloruro	Volumétrico - Nitrato de Plata o Nitrato Mercúrico, Cromatografía de iones
Cloro residual	Espectrofotométrico DPD Iodométrico, Colorimétrico DPD
Dureza total	Volumétrico EDTA
Calcio	Volumétrico EDTA, Fotometría de llama, Espectrometría de Absorción Atómica
Magnesio	Espectrometría de Absorción Atómica, Cálculo
Aluminio	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico eriocromo cianine R
Sodio	Fotometría de llama, Espectrometría de Absorción Atómica
Sólidos disueltos totales	Espectofotométrico, Gravimétrico
Otros parámetros inorgánicos	
Nitrato	Espectrofotométrico reducción de cadmio, Cromatografía de iones
Nitrito	Espectrofotométrico diazotización, Cromatografía de iones
Nitrógeno amoniacal	Ión selectivo, Espectrofotométrico fenato
Fluoruro	Ión selectivo, Espectrofotométrico SPANDS, Cromatografía de iones
Boro	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico ácido carmínico

Bario	Espectrometría de Absorción Atómica
Hierro ferroso	Espectrofotométrico 1,10 – fenantrolina
Hierro total	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico 1,10 – fenantrolina
Manganeso	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico persulfato
Cobre	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico batocuproina
Zinc	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico ditizona
Antimonio	Espectrometría de Absorción Atómica, Horno de Grafito, Espectrofotométrico ditizona
Otros parámetros orgánicos	
Cloroformo	Cromatografía de Gases
Fenoles	Espectrofotométrico 4 amino antipirina (extracción con Cloroformo)
Archilamida	Cromatografía de Gases
Epiclorhidrina	Cromatografía de Gases
Hidrocarburos totales	Espectrofotometría IR, Espectrofotometría UV
Tolueno	Cromatografía de Gases
Benceno	Cromatografía de Gases
Etilbenceno	Cromatografía de Gases
Xileno	Cromatografía de Gases
Benceno(a) pireno	Cromatografía de Gases
Trialometanos	Cromatografía de Gases
Cloruro de vinilo	Cromatografía de Gases
Parámetros relativos a sustancias tóxicas	
Plaguicidas	
Plaguicidas Totales	Cromatografía de Gases (detector, ECD, NPD), Cromatografía Líquida (detector UV).
Plaguicidas Individuales	Cromatografía de Gases (detector ECD, NPD) y Cromatografía Líquida (detector UV).
Arsénico	Espectrofotométrico dietil ditio carbamato de plata, Espectrometría de Absorción Atómica, Generación de Hidruros
Cadmio	Espectrometría de Absorción Atómica - Espectrofotométrico ditizona

Cianuro	Espectrofotométrico cloramina T.
Cromo total	Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrofotométrico difenilcarbazida.
Mercurio	Espectrometría de Absorción Atómica, Vapor Frío, Espectrofotométrico ditizona
Plomo	Espectrometría de Absorción Atómica, Horno de Grafito, Espectrofotométrico ditizona
Selenio	Espectrometría de Absorción Atómica, Generación de hidruros, Espectrofotométrico diaminobencidina
Parámetros microbiológicos	
Coliformes totales	Filtración en membrana- ISO 9308
Coliformes termoresistentes	Filtración en membrana – ISO 9308
Escherichia coli	Filtración en membrana, Colilert – ISO 9308
Heterotróficas totales	Filtración en membrana
Clostridium perfringens	Cultivo anaeróbico
Pseudomonas aeruginosa	Filtración en membrana
Cryptosporidium sp	Concentración e identificación microscópica – EPA 1623
Giardia sp.	Concentración e identificación microscópica – EPA 1623
Amebas	Concentración e identificación microscópica

También se puede tomar como Guía el "Manual Simplificado para el Análisis Fisicoquímico y Bacteriológico de Aguas".

La selección del Método deberá estar en relación con el valor de la norma y el límite de detección del Método.

Los plaguicidas, hidrocarburos y otros compuestos orgánicos, también pueden ser determinados por cromatografía de gases con detector de masas.

Los metales también pueden ser determinados por ICP (Plasma Inductivamente Acoplado).

Otros métodos alternativos serán validados o autorizados por la autoridad competente.

37.- ANALISIS Y CONTROL DE CALIDAD. Para la realización de los análisis, el control de calidad del agua para consumo humano y la adopción de las medidas correctivas oportunas, las EPSA deben disponer de un laboratorio propio o contratado. Los Informes o certificación de análisis deben reportar los métodos empleados, los mismos deben ser reconocidos y/o garantizados.

38.- PÉRDIDA DE LOS REQUISITOS DE CALIDAD. Si por alguna eventualidad, el agua para consumo humano perdiera los requisitos de calidad señalados en el presente Reglamento, las EPSA, deben poner en conocimiento de este hecho y sus consecuencias a la autoridad competente, realizando los siguientes pasos:

a) Identificando el problema.
b) Corrigiendo el problema.
c) Aumentando la frecuencia de muestreo y análisis correspondiente.

39.- RIESGO DE SALUD DE LOS CONSUMIDORES. En caso de que la pérdida de los requisitos de calidad del agua para consumo humano implique un riesgo inminente a la salud de los consumidores, las EPSA, quedan facultadas a suspender total o parcialmente el suministro de agua, comunicando inmediatamente de dicha suspensión a la Autoridad competente, la cual en estrecha coordinación con las EPSA, definirá la aplicación de las medidas oportunas.

40.- SUMINISTRO DE AGUA POR CISTERNAS. Si la EPSA se viera obligada a suministrar agua a través de camiones cisterna, este suministro debe realizarse garantizando la conservación de la calidad del agua hasta el lugar de distribución.

41.- ACCESO LIBRE A PERSONAL AUTORIZADO A PREDIOS DE LAS EPSA. Los predios de la planta de tratamiento deben ser de acceso libre a personal autorizado por el Ministerio/Viceministerio del sector, o la autoridad competente delegada por éste, debidamente identificado para que realice control de la calidad del agua, vigilancia de la misma y/o verificación de los procesos de tratamiento, para cualquier efecto justificado.

42.- REGISTRO DE LAS EPSA Y DE LA INFORMACION.- Para complementar el Control de Calidad del Agua definido en el CAPITULO III del presente Reglamento, las EPSA deben establecer un registro de información con el siguiente contenido:

a) Identificación y ubicación de la EPSA.
· Nombre del sistema de agua.
· Departamento, Provincia, Municipio, Localidad y Dirección.
b) Datos del sistema de agua.
· Tipo y número de fuentes.
· Tipo o proceso de tratamiento.
· Población abastecida.
· Volumen de agua abastecida por día.

c) Datos georeferenciados para ubicación del sistema de agua.

d) Datos del personal responsable del control de la calidad del agua.

e) Parámetros especiales o exceptuados bajo los CAPITULOS III y IV.

f) Tabla de los parámetros con los métodos de análisis que se emplean en el control de la calidad del agua, y los mínimos detectables por el método, teniendo como referencia la Tabla Nº 7 del presente Reglamento.

g) Las Planillas de Registro de Información del Control de Calidad del Agua N°: 1, 2, 3, 4 y 5 del Anexo 1 del presente Reglamento, sirven como referencia para registrar esta información.

CAPÍTULO IV

DE LAS EXCEPCIONES

43.- AUTORIZACIONES EXCEPCIONALES.

El ente regulador, en coordinación con el Ministerio del área de Agua Potable (ente normador) y Ministerio de área de Salud, a solicitud de las EPSA, puede conceder autorizaciones excepcionales a las concentraciones o valores de los parámetros establecidos en la NB 512, solo y únicamente en los siguientes casos:

a) Como medida temporal para mantener el abastecimiento de agua para consumo humano siempre que el servicio no pueda ser atendido de ninguna otra manera.
b) Porque la fuente de agua original no pueda ser utilizada y se utilice otra como fuente temporal.
c) Por razones excepcionales dadas por condiciones meteorológicas.
d) Por ser la única fuente que se tiene en el lugar o zona.
e) Para aguas con propiedades naturales.
f) Por ser un pasivo ambiental.

44.- SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN EXCEPCIONAL. La autorización excepcional debe solicitarse al ente regulador bajo la forma de declaración jurada indicando lo siguiente:

a) Razón social y dirección del abastecedor.
b) Fuente o zonas a ser exceptuadas.
c) Causales de excepción.
d) Pruebas que respalden su solicitud y características de la calidad del agua a la cual se aplica la autorización.
e) Concentración o valor del parámetro o parámetros a ser exceptuados.
f) Periodo de vigencia de la misma, precisando las fechas de inicio y de culminación.
g) Fundamentación del período de excepción solicitado.
h) Plan a seguir para mejorar la calidad del agua o cambio de fuente.
i) Plan de monitoreo o control de la calidad del agua.

45.- PERÍODO DE EXCEPCIÓN. El período de excepción podrá extenderse desde 10 días hasta un máximo de 3 meses, dependiendo de la fundamentación manifestada por las EPSA solicitantes.

46.- EXTENSIÓN DE LA AUTORIZACIÓN. En caso de haberse cumplido el período de excepción autorizado y que las EPSA no hayan podido aún adecuar la calidad del agua abastecida, es posible ampliar por única vez el período de excepción basándose en los incisos h, i, del numeral 44 del presente Reglamento, los cuales deben contar con un sólido respaldo técnico.

47.- RESTRICCIONES. Una autorización excepcional concedida en aplicación del numeral 43 de este Reglamento, sólo puede exceptuar las concentraciones o valores correspondientes a los compuestos que afectan la calidad organoléptica, física y química del agua de consumo humano hasta una concentración que no represente riesgo a la salud pública por un tiempo máximo de tres meses. Los parámetros microbiológicos no están sujetos a esta excepción.

48.- REVOCATORIA O MODIFICACION DE LA AUTORIZACION. A solicitud de las EPSA, el ente regulador, puede revocar o modificar una autorización excepcional cuando se compruebe a través de acción coordinada con representantes del Ministerio del área de agua potable (ente normador) y Ministerio del área de salud, que no existe riesgo para la salud de los consumidores.
Las EPSA deben correr con los gastos de verificación de parámetros de calidad para otorgar una autorización excepcional (mediante Laboratorios de Referencia).

49.- RIESGOS DE CONTAMINACIÓN EN FUENTES DE ABASTECIMIENTO. En caso de existir actividades que potencialmente representen un riesgo de contaminación al recurso hídrico en la fuente de agua, las EPSA deberán realizar la denuncia justificada ante la autoridad ambiental y las autoridades correspondientes a efecto que se tomen las medidas correctivas y/o preventivas.

50.- EVENTO ADVERSO. En caso de acontecer un evento adverso (contaminación furtiva), desastre natural o siniestro (derrame), las EPSA deberán realizar de forma inmediata un estudio completo de la situación de riesgo, que les permita tomar las medidas correspondientes de acuerdo al caso.

Reglamento Nacional NB 512

Anexo 1

Planillas de Registro de Información del Control de Calidad del Agua

PLANILLA Nº 1
HOJA DE IDENTIFICACIÓN

1. IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN DE LA EPSA

NOMBRE:.....
DEPARTAMENTO: .....
PROVINCIA: .....
MUNICIPIO: …….....
DIRECCIÓN: .....
TELÉFONO: .....
CASILLA: .....
E-MAIL: .....

2. DATOS DEL SISTEMA DE AGUA

NOMBRE DEL SISTEMA: …….....……
GEOREFERENCIACION……..
TIPO Y NÚMERO DE FUENTES: .....
TIPO O PROCESO DE TRATAMIENTO: .....
POBLACIÓN ABASTECIDA: ….....….....…..……..…
VOLUMEN DE AGUA ABASTECIDA/DIA: .....
NOMBRE RESPONSABLE DEL CONTROL DE CALIDAD…….

3. PARÁMETROS ESPECIALES Ó EXCEPTUADOS

4. TABLA DE PARÁMETROS, MÉTODOS Y LÍMITES DE DETECCIÓN

LISTA DE PARÁMETROS:
MÉTODO DE ANÁLISIS EMPLEADO POR PARÁMETRO:
LIMITE DE DETECCION DEL MÉTODO:

NOTA: Este ítem puede ser presentado una sola vez por año.

PLANILLA Nº 2
REGISTRO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA Y EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO
REPORTE MENSUAL

NOMBRE DEL SISTEMA: .....

TIPO DE TRATAMIENTO: .....

FECHA	TIPO DE ANALISIS	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR			VALOR GUIA NB 512
				Afluente a planta	Efluente de planta	Efluente de tanque	
DIA: 1	Control Mínimo.	pH.					
		Conductividad.					
		Turbiedad.					
		Cloro residual.					
		Termoresistente.					
DIA: 2	Control Mínimo.	pH.					
		Conductividad.					
		Turbiedad.					
		Cloro residual.					
		Termoresistente.					
DIA: 3	Control Mínimo.	pH.					
		Conductividad.					
		Turbiedad.					
		Cloro residual.					
		Termoresistente.					
DIA: 5	Control Mínimo.	pH.					
		Conductividad.					
		Turbiedad.					
		Cloro residual.					
		Termoresistente.					
DIA: 30 (último día del mes)	Control Mínimo y Básico.	pH.					
		Conductividad.					
		Turbiedad.					
		Cloro residual.					
		Color.					
		Dureza.					
		Sodio.					
		Hierro total.					
		Manganeso.					
		Cloruros.					
		Sulfatos.					
		Termoresistente.					

PLANILLA Nº 3
CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN
REPORTE MENSUAL

NOMBRE DEL SISTEMA: .....

FECHA	TIPO DE ANALISIS	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR EN EL PUNTO DE MUESTREO								OBSERVACIONES
				1	2	3	4	5	6	7	8	
DIA: 1	Control Mínimo.	pH.										
		Conductividad.										
		Turbiedad.										
		Cloro residual.										
		Termoresistente.										
DIA: 2	Control Mínimo.	pH.										
		Conductividad.										
		Turbiedad.										
		Cloro residual.										
		Termoresistente.										
DIA: 3	Control Mínimo.	pH.										
		Conductividad.										
		Turbiedad.										
		Cloro residual.										
		Termoresistente.										
DIA: 30	Control Básico.	pH.										
		Conductividad.										
		Turbiedad.										
		Cloro residual.										
		Color.										
		Dureza.										
		Sodio.										
		Hierro total.										
		Manganeso.										
		Cloruros.										
		Sulfatos.										
		Termoresistente.										

NOTA: En caso de análisis de parámetros especiales (Tabla Nº 4 del Reglamento) se debe reportar en formato similar.

PLANILLA Nº 4
CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO
REPORTE SEMESTRAL

NOMBRE DEL SISTEMA: .....

TIPO DE ANALISIS	FECHA	PARAMETRO	VALOR		VALOR GUIA NB 512	OBSERVACIONES
			Afluente de planta	Efluente de planta		
		Químicos Inorgánicos				
		Arsénico.				
		Bario.				
		Boro.				
		Cadmio.				
		Cianuro.				
		Cobre.				
		Fluoruro.				
		Aluminio.				
		Nitritos.				
		Nitratos.				
		Plomo.				
		Zinc.				
		Níquel.				
		Subproductos de la desinfección.				
		Trihalometanos.				
		Químicos Orgánicos				
Control Complem.		**a) Plaguicidas.**				
		Plaguicidas Totales.				
		Plaguicida Individual.				
		b) Hidrocarburos.				
		Hidrocarburos Totales.				
		Benceno.				
		Tolueno.				
		Etilbenceno.				
		Xileno.				
		Benzo(a)pireno.				
		Microbiológico.				
		a) Bacterias.				
		Coniformes Totales				
		Escherichia Coli.				
		Heterotróficas.				
		Pseudomonas.				
		Clostridium.				
		b) Parásitos.				
		Control				
		Complem.				
		Cryptosporidium.				

PLANILLA Nº 5 - CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN
REPORTE MENSUAL
DATOS COMPARATIVOS Y VALORES PROMEDIO

NOMBRE DEL SISTEMA: .....

PERÍODO AL QUE CORRESPONDE EL REPORTE.....

FECHA DE PRESENTACIÓN.....

	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR NB 512	NUMERO DE MUESTRAS ANALIZADAS	VALOR MAXIMO	VALOR MINIMO	PROMEDIO	% CONFORMIDAD	OBSERVACIONES
MINIMO	**pH**								
	Conductividad								
	Turbiedad								
	Cloro residual								
	Coliformes termoresistentes								
	Escherichia coli								
MINIMO + BASICO	pH								
	Conductividad								
	Turbiedad								
	Cloro residual								
	Coliformes termoresistentes								
	Escherichia coli								
	Color								
	Sólidos disueltos totales								
	Alcalinidad total								
	Calcio								
	Cloruros								
	Dureza								
	Hierro total								
	Magnesio								
	Manganeso								
	Sodio								
	Sulfatos								

Reglamento Nacional NB 512

ANEXO 2

Ejemplos de Aplicación del Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano

EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL REGLAMENTO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

EJEMPLO 1:

Comunidad: …….

Población abastecida: 750 habitantes.

Tipo de fuente: Superficial.

Paso 1. DETERMINACION DE LA CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS AL AÑO.

Tabla N° 5. CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRAS.
(Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de Muestras / Frecuencia
≤ 1.000	1/semestre
1.001 a 2.000	1/cuatrimestre
2.001 a 5.000	1/bimestre
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las guías de la OMS/OPS Vol. 3

Punto	Cálculo	Número de Muestras
4 (Red)	750 h	1 cada seis meses

Paso 2. NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED = 1 cada seis meses

Paso 3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

La ubicación será determinada conforme a los criterios definidos en los numerales 23 y 24 del Reglamento Nacional.

Paso 4. FRECUENCIA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL (Tabla Nº 6)

Tabla N° 6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO AL AÑO Y PARAMETROS DE CONTROL EN LOS PUNTOS 3 Y 4.

Población abastecida (hab.)	Parámetro de control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (punto 4)	
		Fuente superficial	Fuente subterránea	Fuente superficial	Fuente subterránea
≤ 1.000	Mínimo (tabla Nº1)	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral
1.001 a 2.000	Mínimo (tabla Nº1)	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral
2.001 a 5.000	Mínimo (tabla Nº1)	Bimensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001-500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 (salida de la Planta de Tratamiento).

La frecuencia de muestreo y los parámetros de control de una fuente superficial para una población de 750 hab., se obtienen de las Tablas Nº 5 y Nº 6 del Reglamento Nacional.

Parámetro de Control	Número de Muestras (punto 3)	Número de Muestras (punto 4)
Mínimo (Tabla Nº 1)	1 vez / cada 6 meses	1 vez / cada 6 meses

Paso 5. RESUMEN DEL NUMERO DE MUESTRAS ANUALES, PARAMETROS DE CONTROL Y TIPO DE ANALISIS (FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS) QUE SE DEBEN REALIZAR PARA UNA POBLACIÓN DE 750 HABITANTES

Los Parámetros de Control se obtienen de la Tabla 6:

TABLA RESUMEN ANUAL PARA UNA POBLACION DE 750 HABITANTES

Parámetros de Control	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 3*	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 4	Total número de muestras a ser analizadas al año en el Sistema
	(1)	(2)	(3)
Mínimo – Tabla N° 1 (Fisicoquímico)	(1x2) = 2	(1x2) = 2	**4**
Mínimo – Tabla N° 1 (Bacteriológico)	(1x2) = 2	(1x2) = 2	**4**
Básico – Tabla N° 2 (Fisicoquímico)	**-**	**-**	**-**
Complementario – Tabla N°3	**-**	**-**	**-**

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestra se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº 1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

(1) Resulta de multiplicar la frecuencia mínima de muestreo para el punto 3 (Paso 4) por 2 (porque es cada 6 meses).

(2) Resulta de multiplicar el número de muestras por mes en la red (Paso 4) por 2 (porque es cada 6 meses).

Nota 1: Parámetros de Control Básico y Complementario:

La no definición de los Parámetros Básicos y Complementarios no quiere decir que no se realicen, si se ve que es necesario realizar y existen las posibilidades económicas, es obviamente aconsejable hacerlo.

Nota 2: Parámetros de Control Especial:

En caso excepcional, por efectos de un desastre natural o contaminación provocada, se realizará los análisis de todos los Parámetros de Control Especial (Tabla Nº 4) o algunos de la misma, como se indica en el Numeral 21 del Reglamento Nacional.

COSTO REFERENCIAL ANUAL

Para una población abastecida de 750 habitantes:

Tipo de análisis	Nº de muestras en el punto 3	Nº de muestras en el punto 4	Nº total de muestras	Costo promedio de análisis (Bs.)	Costo total (Bs.)
Mínimo fisicoquímico	2	2	4	27	108
Mínimo Bacteriológico	2	2	4	71	284
Básico Fisicoquímico	-	-	-		
Complementario	-	-	-		
TOTAL					392

Considerar que el precio es referencial (t/c 1 $us / 7.07 Bs.)

EJEMPLO 2:

Comunidad: ……

Población abastecida: 1.500 habitantes

Tipo de fuente: Superficial.

Paso 1. DETERMINACION DE LA CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS AL AÑO.

Tabla N°5. CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS (Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de Muestras / Frecuencia
≤ 1.000	1/semestre
1.001 a 2.000	1/cuatrimestre
2.001 a 5.000	1/bimestre
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las guías de la OMS/OPS Vol. 3

Punto	Cálculo	Número de Muestras
4 (Red)	1.500 h	1 cada cuatro meses

Paso 2. NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED = 1 cada cuatro meses

Paso 3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

La ubicación será determinada conforme a los criterios definidos en los numerales 23 y 24 del Reglamento Nacional.

Paso 4. FRECUENCIA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL (Tabla Nº 6)

Tabla N° 6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO AL AÑO Y PARAMETROS DE CONTROL EN LOS PUNTOS 3 Y 4.

Población abastecida (hab.)	Parámetro de control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (punto 4)	
		Fuente superficial	Fuente subterránea	Fuente superficial	Fuente subterránea
≤ 1.000	Mínimo (tabla Nº1)	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral
1.001 a 2.000	Mínimo (tabla Nº1)	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral
2.001 a 5.000	Mínimo (tabla Nº1)	Bimensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001- 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 (salida de la Planta de Tratamiento).

La frecuencia de muestreo y los parámetros de control de una fuente superficial para una población de 1.500 hab., se obtienen de las Tablas Nº 5 y Nº 6 del Reglamento Nacional.

Parámetro de Control	Número de Muestras (punto 3)	Número de Muestras (punto 4)
Mínimo (Tabla Nº 1)	1 vez / cada 4 meses	1 vez / cada 4 meses

Paso 5. RESUMEN DEL NUMERO DE MUESTRAS ANUALES, PARAMETROS DE CONTROL Y TIPO DE ANALISIS (FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS) QUE SE DEBEN REALIZAR PARA UNA POBLACIÓN DE 1.500 HABITANTES

Los Parámetros de Control se obtienen de la Tabla 6:

TABLA RESUMEN ANUAL PARA UNA POBLACION DE 1.500 HABITANTES

Parámetros de Control	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 3*	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 4	Total número de muestras a ser analizadas al año en el Sistema
	(1)	(2)	(3)
Mínimo – Tabla N° 1 (Fisicoquímico)	(1x3) = 3	(1x3) = 3	**6**
Mínimo – Tabla N° 1 (Bacteriológico)	(1x3) = 3	(1x3) = 3	**6**
Básico – Tabla N° 2 (Fisicoquímico)	-	-	-
Complementario – Tabla N°3	-	-	-

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestra se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº 1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

(1) Resulta de multiplicar la frecuencia mínima de muestreo para el punto 3 (Paso 4) por 3 (porque es cada 4 meses).

(2) Resulta de multiplicar el número de muestras por mes en la red (Paso 4) por 3 (porque es cada 4 meses).

Nota 1: Parámetros de Control Básico y Complementario:

La no definición de los Parámetros Básicos y Complementarios no quiere decir que no se realicen, si se ve que es necesario realizar y existen las posibilidades económicas, es obviamente aconsejable hacerlo.

Nota 2: Parámetros de Control Especial:

En caso excepcional, por efectos de un desastre natural o contaminación provocada, se realizará los análisis de todos los Parámetros de Control Especial (Tabla Nº 4) o algunos de la misma, como se indica en el Numeral 21 del Reglamento Nacional.

COSTO REFERENCIAL ANUAL

Para una población abastecida de 1.500 habitantes:

Tipo de análisis	Nº de muestras en el punto 3	Nº de muestras en el punto 4	Nº total de muestras	Costo promedio de análisis (Bs.)	Costo total (Bs.)
Mínimo fisicoquímico	3	3	6	27	162
Mínimo Bacteriológico	3	3	6	71	426
Básico Fisicoquímico	-	-	-		
Complementario	-	-	-		
TOTAL					552

Considerar que el precio es referencial (t/c 1 $us / 7.07 Bs.)

EJEMPLO 3:

Comunidad: ……..

Población abastecida: 15.000 habitantes

Tipo de fuente: Superficial.

Paso 1. DETERMINACION DE LA CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS AL AÑO.

Tabla N°5. CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS
(Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de Muestras / Frecuencia
≤ 1.000	1/semestre
1.001 a 2.000	1/cuatrimestre
2.001 a 5.000	1/bimestre
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las guías de la OMS/OPS Vol. 3

Punto	Cálculo	Número de Muestras
4 (Red)	15.000 h	3 cada mes

Paso 2. NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED = 3 cada
Paso 3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.
La ubicación será determinada conforme a los criterios definidos en los numerales 23 y 24 del Reglamento Nacional.
Paso 4. FRECUENCIA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL (Tabla Nº 6)

Tabla N° 6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO AL AÑO Y PARAMETROS DE CONTROL EN LOS PUNTOS 3 Y 4.

Población abastecida (hab.)	Parámetro de control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (punto 4)	
		Fuente superficial	Fuente subterránea	Fuente superficial	Fuente subterránea
≤ 1.000	Mínimo (tabla Nº1)	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral
1.001 a 2.000	Mínimo (tabla Nº1)	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral
2.001 a 5.000	Mínimo (tabla Nº1)	Bimensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001-500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 (salida de la Planta de Tratamiento).

La frecuencia de muestreo y los parámetros de control de una fuente superficial para una población de 15.000 hab., se obtienen de las Tablas Nº 5 y Nº 6 del Reglamento Nacional.

Parámetro de Control	Número de Muestras (punto 3)	Número de Muestras (punto 4)
Mínimo (Tabla Nº 1)	4 / meses	3 / mes
Básica (Tabla Nº 2)	Ninguna	1 / mes
Complementario (tabla Nº3)	Anual	Ninguna

Paso 5. RESUMEN DEL NUMERO DE MUESTRAS ANUALES, PARAMETROS DE CONTROL Y TIPO DE ANALISIS (FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS) QUE SE DEBEN REALIZAR PARA UNA POBLACIÓN DE 15.000 HABITANTES

Los Parámetros de Control se obtienen de la Tabla 6:

TABLA RESUMEN ANUAL PARA UNA POBLACION DE 1.500 HABITANTES

Parámetros de Control	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 3*	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 4	Total número de muestras a ser analizadas al año en el Sistema
	(1)	(2)	(3)
Mínimo – Tabla N° 1 (Fisicoquímico)	(4x12) = 48	(3x12) = 36	**84**
Mínimo – Tabla N° 1 (Bacteriológico)	(4x12) = 48	(3x12) = 36	**84**
Básico – Tabla N° 2 (Fisicoquímico)	**-**	(1x12) = 12	**12**
Complementario – Tabla N°3	**1**	**-**	**1**

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestra se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº 1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

(1) Resulta de multiplicar la frecuencia mínima de muestreo para el punto 3 (Paso 4) por 12 meses.

(2) Resulta de multiplicar el número de muestras por mes en la red (Paso 4) por 12 meses.

Nota: Parámetros de Control Especial:

En caso excepcional, por efectos de un desastre natural o contaminación provocada, se realizará los análisis de todos los Parámetros de Control Especial. Tabla Nº4) o algunos de la misma, como se indica en el numeral 21 del Reglamento Nacional.

COSTO REFERENCIAL ANUAL

Para una población abastecida de 15.000 habitantes:

Tipo de análisis	Nº de muestras en el punto 3	Nº de muestras en el punto 4	Nº total de muestras	Costo promedio de análisis (Bs.)	Costo total (Bs.)
Mínimo fisicoquímico	48	36	84	27	2.268
Mínimo Bacteriológico	48	36	84	71	5.964
Básico Fisicoquímico	0	12	12	195	2.340
Complementario	1	0	1	5.857	5.857
TOTAL					16.429

Considerar que el precio es referencial (t/c 1 $us / 7.07 Bs.)

EJEMPLO 4:

Comunidad: …….

Población abastecida: 87.139 habitantes

Tipo de fuente: Superficial.

Paso 1. DETERMINACION DE LA CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS AL AÑO.

Tabla N°5. CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS (Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de Muestras / Frecuencia
≤ 1.000	1/semestre
1.001 a 2.000	1/cuatrimestre
2.001 a 5.000	1/bimestre
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las guías de la OMS/OPS Vol. 3

Punto	Cálculo	Número de Muestras
4 (Red)	87.139 / 5.000	17

Paso 2. NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED = 17
Paso 3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

La ubicación será determinada conforme a los criterios definidos en los numerales 23 y 24 del Reglamento Nacional.

Paso 4. FRECUENCIA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL (Tabla Nº 6)

Tabla N° 6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO AL AÑO Y PARAMETROS DE CONTROL EN LOS PUNTOS 3 Y 4.

Población abastecida (hab.)	Parámetro de control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (punto 4)	
		Fuente superficial	Fuente subterránea	Fuente superficial	Fuente subterránea
≤ 1.000	Mínimo (tabla Nº1)	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral
1.001 a 2.000	Mínimo (tabla Nº1)	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral
2.001 a 5.000	Mínimo (tabla Nº1)	Bimensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001-500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 de la figura Nº1 (salida de la Planta de Tratamiento).

La frecuencia de muestreo y los parámetros de control de una fuente superficial para una población de 87.139 hab., se obtienen de las Tablas Nº 5 y Nº 6 del Reglamento Nacional.

Parámetro de Control	Número de Muestras (punto 3)	Número de Muestras (punto 4)
Mínimo (Tabla Nº 1)	30 / mes	17 / mes
Básica (Tabla Nº 2)	1 / mes	1 / mes
Complementario (tabla Nº3)	1 / semestre	Ninguna

Paso 5. RESUMEN DEL NUMERO DE MUESTRAS ANUALES, PARAMETROS DE CONTROL Y TIPO DE ANALISIS (FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS) QUE SE DEBEN REALIZAR PARA UNA POBLACIÓN DE 87.139 HABITANTES

Los Parámetros de Control se obtienen de la Tabla 6:

TABLA RESUMEN ANUAL PARA UNA POBLACION DE 87.139 HABITANTES

Parámetros de Control	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 3*	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 4	Total número de muestras a ser analizadas al año en el Sistema
	(1)	(2)	(3)
Mínimo – Tabla N° 1 (Fisicoquímico)	(30x12) = 360	(17x12) = 204	**564**
Mínimo – Tabla N° 1 (Bacteriológico)	(30x12) = 360	(17x12) = 204	**564**
Básico – Tabla N° 2 (Fisicoquímico)	(1x12) = 12	(1x12) = 12	**24**
Complementario – Tabla N°3	(2x1) = 2	**-**	**2**

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestra se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº 1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

(1) Resulta de multiplicar la frecuencia mínima de muestreo para el punto 3 (Paso 4) por 12 meses.

(2) Resulta de multiplicar el número de muestras por mes en la red (Paso 4) por 12 meses.

Nota: Parámetros de Control Especial:

En caso excepcional, por efectos de un desastre natural o contaminación provocada, se realizará los análisis de todos los Parámetros de Control Especial. Tabla Nº4) o algunos de la misma, como se indica en el numeral 21 del Reglamento Nacional.

COSTO REFERENCIAL ANUAL

Para una población abastecida de 87.139 habitantes:

Tipo de análisis	Nº de muestras en el punto 3	Nº de muestras en el punto 4	Nº total de muestras	Costo promedio de análisis (Bs.)	Costo total (Bs.)
Mínimo fisicoquímico	360	204	564	27	15.228
Mínimo Bacteriológico	360	204	564	71	40.044
Básico Fisicoquímico	12	12	24	195	4.680
Complementario	2	0	2	5.857	11.714
TOTAL					71.666

Considerar que el precio es referencial (t/c 1 $us / 7.07 Bs.)

EJEMPLO 5:

Comunidad: …….

Población abastecida: 200.000 habitantes

Tipo de fuente: Superficial.

Paso 1. DETERMINACION DE LA CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS AL AÑO.

Tabla N°5. CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS (Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de Muestras / Frecuencia
≤ 1.000	1/semestre
1.001 a 2.000	1/cuatrimestre
2.001 a 5.000	1/bimestre
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las guías de la OMS/OPS Vol. 3

Punto	Cálculo	Número de Muestras
4 (Red)	10+(200.000/10.000)	30 /mes

Paso 2. NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED = 30

Paso 3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

La ubicación será determinada conforme a los criterios definidos en los numerales 23 y 24 del Reglamento Nacional.

Paso 4. FRECUENCIA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL (Tabla Nº 6)

Tabla N° 6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO AL AÑO Y PARAMETROS DE CONTROL EN LOS PUNTOS 3 Y 4.

Población abastecida (hab.)	Parámetro de control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (punto 4)	
		Fuente superficial	Fuente subterránea	Fuente superficial	Fuente subterránea
≤ 1.000	Mínimo (tabla Nº1)	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral
1.001 a 2.000	Mínimo (tabla Nº1)	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral
2.001 a 5.000	Mínimo (tabla Nº1)	Bimensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001-500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 de la figura Nº1 (salida de la Planta de Tratamiento).

La frecuencia de muestreo y los parámetros de control de una fuente superficial para una población de 200.000 hab., se obtienen de las Tablas Nº 5 y Nº 6 del Reglamento Nacional.

Parámetro de Control	Número de Muestras (punto 3)	Número de Muestras (punto 4)
Mínimo (Tabla Nº 1)	30 / mes	30 / mes
Básica (Tabla Nº 2)	1 / mes	1 / mes
Complementario (tabla Nº3)	1 / semestre	Ninguna

Paso 5. RESUMEN DEL NUMERO DE MUESTRAS ANUALES, PARAMETROS DE CONTROL Y TIPO DE ANALISIS (FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS) QUE SE DEBEN REALIZAR PARA UNA POBLACIÓN DE 200.000 HABITANTES

Los Parámetros de Control se obtienen de la Tabla 6:

TABLA RESUMEN ANUAL PARA UNA POBLACION DE 200.000 HABITANTES

Parámetros de Control	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 3*	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 4	Total número de muestras a ser analizadas al año en el Sistema
	(1)	(2)	(3)
Mínimo – Tabla N° 1 (Fisicoquímico)	(30x12) = 360	(30x12) = 360	**720**
Mínimo – Tabla N° 1 (Bacteriológico)	(30x12) = 360	(30x12) = 360	**720**
Básico – Tabla N° 2 (Fisicoquímico)	(1x12) = 12	(1x12) = 12	**24**
Complementario – Tabla N°3	(2x1) = 2	-	**2**

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestra se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº 1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

(1) Resulta de multiplicar la frecuencia mínima de muestreo para el punto 3 (Paso 4) por 12 meses.

(2) Resulta de multiplicar el número de muestras por mes en la red (Paso 4) por 12 meses.

Nota: Parámetros de Control Especial:

En caso excepcional, por efectos de un desastre natural o contaminación provocada, se realizará los análisis de todos los Parámetros de Control Especial. Tabla Nº4) o algunos de la misma, como se indica en el numeral 21 del Reglamento Nacional.

COSTO REFERENCIAL ANUAL

Para una población abastecida de 200.000 habitantes:

Tipo de análisis	Nº de muestras en el punto 3	Nº de muestras en el punto 4	Nº total de muestras	Costo promedio de análisis (Bs.)	Costo total (Bs.)
Mínimo fisicoquímico	360	360	720	27	19.440
Mínimo Bacteriológico	360	360	720	71	51.120
Básico Fisicoquímico	12	12	24	195	4.680
Complementario	2	0	2	5.857	11.714
TOTAL					86.954

Considerar que el precio es referencial (t/c 1 $us / 7.07 Bs.)

EJEMPLO 6:

Comunidad: El Alto (Meseta)

Población abastecida: 550.000 habitantes

Tipo de fuente: Superficial.

Paso 1. DETERMINACION DE LA CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS AL AÑO.

Tabla N°5. CANTIDAD MINIMA DE MUESTRAS (Red de distribución)

Población abastecida (hab.)	Número de Muestras / Frecuencia
≤ 1.000	1/semestre
1.001 a 2.000	1/cuatrimestre
2.001 a 5.000	1/bimestre
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
30.001 a 50.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10 + 1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Elaboración en base a las guías de la OMS/OPS Vol. 3

Punto	Cálculo	Número de Muestras
4 (Red)	10+(550.000/10.000)	65 /mes

Paso 2. NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED = 65
Paso 3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

La ubicación será determinada conforme a los criterios definidos en los numerales 23 y 24 del Reglamento Nacional.

Paso 4. FRECUENCIA DE MUESTREO Y PARAMETROS DE CONTROL (Tabla Nº 6)

Tabla N° 6. FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO AL AÑO Y PARAMETROS DE CONTROL EN LOS PUNTOS 3 Y 4.

Población abastecida (hab.)	Parámetro de control	Salida del Tanque (Punto 3*)		Red de distribución (punto 4)	
		Fuente superficial	Fuente subterránea	Fuente superficial	Fuente subterránea
≤ 1.000	Mínimo (tabla Nº1)	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral
1.001 a 2.000	Mínimo (tabla Nº1)	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral	Cuatrimestral
2.001 a 5.000	Mínimo (tabla Nº1)	Bimensual	Bimensual	Bimensual	Bimensual
5.001 a 10.000	Mínimo (Tabla N°1)	2 veces / mes	1 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Ninguna
10.001 a 20.000	Mínimo (Tabla N°1)	4 veces / mes	2 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
20.001 a 30.000	Mínimo (Tabla N°1)	8 veces / mes	4 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Anual	Anual	Ninguna	Ninguna
30.001 a 50.000	Mínimo (Tabla N°1)	15 veces / mes	8 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Ninguna	Ninguna	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
50.001- 100.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
100.001- 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces/mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna
> 500.000	Mínimo (Tabla N°1)	30 veces / mes	15 veces / mes	Tabla Nº5 * 12	Tabla Nº5 * 12
	Básico (Tabla N°2)	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual
	Complementario (Tabla N°3)	Semestral	Anual	Ninguna	Ninguna

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestras se realizará en el Punto 2 de la figura Nº1 (salida de la Planta de Tratamiento).

La frecuencia de muestreo y los parámetros de control de una fuente superficial para una población de 550.000 hab., se obtienen de las Tablas Nº 5 y Nº 6 del Reglamento Nacional.

Parámetro de Control	Número de Muestras (punto 3)	Número de Muestras (punto 4)
Mínimo (Tabla Nº 1)	30 / mes	65 / mes
Básica (Tabla Nº 2)	1 / mes	1 / mes
Complementario (tabla Nº3)	1 / semestre	Ninguna

Paso 5. RESUMEN DEL NUMERO DE MUESTRAS ANUALES, PARAMETROS DE CONTROL Y TIPO DE ANALISIS (FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS) QUE SE DEBEN REALIZAR PARA UNA POBLACIÓN DE 550.000 HABITANTES

Los Parámetros de Control se obtienen de la Tabla 6:

TABLA RESUMEN ANUAL PARA UNA POBLACION DE 550.000 HABITANTES

Parámetros de Control	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 3*	Número de muestras a ser analizadas al año en el Punto 4	Total número de muestras a ser analizadas al año en el Sistema
	(1)	(2)	(3)
Mínimo – Tabla N° 1 (Fisicoquímico)	(30x12) = 360	(65x12) = 780	**1.140**
Mínimo – Tabla N° 1 (Bacteriológico)	(30x12) = 360	(65x12) = 780	**1.140**
Básico – Tabla N° 2 (Fisicoquímico)	(1x12) = 12	(1x12) = 12	**24**
Complementario – Tabla N°3	(2x1) = 2	**-**	**2**

(*) En los casos donde no exista el Punto 3 (salida de tanque), la toma de muestra se realizará en el Punto 2 de la Figura Nº 1 (Salida de la Planta de Tratamiento).

(1) Resulta de multiplicar la frecuencia mínima de muestreo para el punto 3 (Paso 4) por 12 meses.

(2) Resulta de multiplicar el número de muestras por mes en la red (Paso 4) por 12 meses.

Nota: Parámetros de Control Especial:

En caso excepcional, por efectos de un desastre natural o contaminación provocada, se realizará los análisis de todos los Parámetros de Control Especial. Tabla Nº4) o algunos de la misma, como se indica en el numeral 21 del Reglamento Nacional.

COSTO REFERENCIAL ANUAL

Para una población abastecida de 200.000 habitantes:

Tipo de análisis	Nº de muestras en el punto 3	Nº de muestras en el punto 4	Nº total de muestras	Costo promedio de análisis (Bs.)	Costo total (Bs.)
Mínimo fisicoquímico	360	780	1.140	27	30.780
Mínimo Bacteriológico	360	780	1.140	71	80.940
Básico Fisicoquímico	12	12	24	195	4.680
Complementario	2	0	2	5.857	11.714
TOTAL					128.114

Considerar que el precio es referencial (t/c 1 $us / 7.07 Bs.)

BIBLIOGRAFÍA

Norma Boliviana NB 512 – Agua Potable Requisitos – Tercera Revisión – Instituto Boliviano de Normalización y Calidad – IBNORCA – Viceministerio de Servicios Básicos -Octubre 2004.

Guías para elaborar Normas de Calidad del Agua de Bebida en los Países en Desarrollo OPSCEPIS- 2002

Normas Oficiales para la Calidad del Agua, Perú- 1995

Guía Para la Vigilancia y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, Autor Ricardo Rojas OPS/CEPIS – 2002

Guía Para la Calidad del Agua Potable – Volumen 1: Recomendaciones OMS-1995

Guidelines for Drinking- Water Quality- Volume 2: Health Criteria and other Supporting Information WHO- 1996

Guías Para la Calidad del Agua Potable- volumen 3: Vigilancia y Control de los Abastecimientos de Agua a la Comunidad OMS-1998.

Norma Chilena Oficial, NCh409/1.Of2005.

Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Dirección General de Salud Ambiental DIGESBA , Perú, 2009.

AGRADECIMIENTO

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua, a través del Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, expresa su reconocimiento a todos los profesionales e instituciones del sector por haber aportado con su amplio conocimiento en forma desinteresada.

La presente edición 2010, fue posible a la gentileza y apoyo financiero de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA - ASVI).

VAPSB: Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico

El VAPSB, dependiente del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, en cumplimiento al mandato del "Vivir Bien" y los Objetivos del Milenio, creado con el propósito de promover el mejoramiento de la calidad de vida de la población boliviana, a través de la dotación de servicios sostenibles de agua potable y saneamiento y gestión de residuos sólidos, tiene las siguientes funciones y atribuciones:

a) Coadyuvar en la formulación e implementación de políticas, planes y normas para el desarrollo, provisión y mejoramiento de los servicios de agua potable, saneamiento básico (alcantarillado sanitario, disposición de excretas, residuos sólidos y drenaje pluvial).

b) Promover normas técnicas, disposiciones reglamentarias e instructivas para el buen aprovechamiento y regulación de los servicios de agua potable y saneamiento básico.

c) Impulsar y ejecutar políticas, planes programas y proyectos, así como gestionar financiamiento para la inversión destinados a ampliar la cobertura de los servicios de saneamiento básico en todo el territorio nacional, particularmente en el área rural y en sectores de la población urbana y periurbana de bajos ingresos, coordinando con las instancias correspondientes.

d) Difundir y vigilar la aplicación de políticas, planes, proyectos y normas técnicas para el establecimiento y operación de los servicios de agua potable y saneamiento básico.

e) Coordinar la fiscalización y ejecución de proyectos y programas relativos a los servicios de agua potable y saneamiento básico en el nivel nacional.

f) Coordinar con las diferentes instancias de la organización territorial del estado, en el ámbito competencial exclusivo, compartido y concurrentes, la elaboración e implementación y fiscalización de políticas, planes, programas y proyectos relativos al sector de saneamiento básico.

g) Implementar, sustentar y fortalecer el Sistema de Información Sectorial Nacional.

h) Coadyuvar en la implementación de políticas, planes, programas y proyectos de fortalecimiento institucional y asistencia técnica a entidades prestadoras de servicios de agua potable y saneamiento básico.

i) Promover y canalizar cooperación financiera a las entidades territoriales descentralizadas y autónomas, con el fin de desarrollar políticas, planes, programas y proyectos de agua potable y saneamiento básico.

j) Gestionar a través del Despacho del Ministro de Medio Ambiente y Agua el financiamiento para el establecimiento de programas, proyectos de agua potable y saneamiento básico.

Revisión

El presente Reglamento está sujeto a ser revisado periódicamente, con el objeto de que responda permanentemente a las necesidades y exigencias del Sector.

Características de aplicación

Este Reglamento se constituye en instrumento de ordenamiento tecnológico, orientado a aplicar criterios de calidad; su utilización es de carácter obligatorio y un compromiso conciencial y de responsabilidad de las instituciones y profesionales que trabajan en el Sector.

Información sobre Normas y Reglamentos Técnicos

El VAPSB ha habilitado en su página web (www.mmaya.gob.bo) un espacio de "Normas Técnicas", donde se encuentran en formato pdf, las distintas normas y reglamentos técnicos del Sector.

Derechos de propiedad

Este documento es propiedad del Ministerio de Medio Ambiente y Agua del Estado Plurinacional de Bolivia. Se autoriza la reproducción parcial o total, haciendo referencia a la fuente.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico
Calle Capitán Castrillo No 434
Telf. 2115571 - 2115573
La Paz - Bolivia

Formato Normalizado A4 (210 mm. x 297 mm.). Conforme a Norma Boliviana NB 723001 (NB 029

Norma Boliviana

NB 689

REPÚBLICA DE BOLIVIA

MINISTERIO DEL AGUA
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

Instalaciones de agua – Diseño para Sistemas de Agua Potable

Segunda revisión
ICS 91.140.60
Sistemas de abastecimiento de agua
Diciembre 2004

IBNORCA

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

Norma Boliviana NB 689

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

INSTALACIONES DE AGUA - DISEÑO PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Segunda revisión

Diciembre 2004

PREFACIO

La presente " Norma Boliviana NB 689 - Instalaciones de agua - Diseño para sistemas de agua potable", sustituye a la correspondiente Norma editada en noviembre de 1996.

La actualización de esta Norma fue realizada por el Viceministerio de Servicios Básicos, a través de la Dirección General de Servicios Básicos, a cargo del Ing. MSc. Alvaro Camacho, bajo la coordinación del Ing. Alcides Franco, Director del Area de Normas y Tecnología (DANT) del MSOP, y la supervisión del Ing. MSc. Marco Quiroga, Coordinador General del Proyecto de Asistencia Técnica (PROAT).

La actualización de esta Norma ha sido encomendada al Comité Técnico integrado por los siguientes profesionales e instituciones:

COMITE TECNICO

Alcides Franco	DANT / VSB	Ronny Vega	ANESAPA
Marco Quiroga	VSB / PROAT	Evel Álvarez	AISA
Marina Dockwailer	FPS Nacional	José Luís Castagné	ABIS
Frady Torrico	FPS Nacional	Gonzalo Dalence E.	IBNORCA
Edson Valda	FNDR		
Carlos Gámez	SISAB		

La revisión de esta Norma se realizó en talleres regionales con la participación de los siguientes profesionales e instituciones:

Edwin Laruta	VSB	Manuel Elías	EMPRESA MISICUNI
Jorge Calderón	VSB	José Díaz	IIS-UMSA
Enrique Torrico	VSB	Francisco Bellot	IIS-UMSA
Susana Jaramillo	VSB	Edwin Astorga	IIS-UMSA
Reynaldo Villalba	VSB	Gregorio Carvajal	IIS-UMSA
Wilma Montesinos	VIPFE	Oscar Moscoso	CASA-UMSS
Erico Navarro	PROAGUAS	Oddin Chávez	UAGRM
Jorge Flores	SISAB	Roñando Tardío	UAGRM
Marco Reyes	FPS La Paz	Franz Choque	ABIS Cochabamba
Marco Gómez	FPS La Paz	Zoilo Cordero	ABIS Cochabamba
Oswaldo Valverde	FPS La Paz	Juan Carlos Holters	ABIS Santa Cruz
Ramiro Iporre	FPS Cochabamba	Víctor Rico	CARE
Mario Arnez	FPS Cochabamba	José Antonio Zuleta	UNICEF
Eduardo Cuestas	FPS Santa Cruz	Marcelo Encalada	Fundación SODIS
Ramiro Plaza	FPS Santa Cruz	Grover Calicho	PRODASUB - JICA
Edson Zelada	UNASBVI Cochabamba	Roger Mattos	Empresa GLOBAL
Percy Soria Galvarro	UNASBVI Oruro	Gery Irusta	SED FMC
Romel Chávez	Prefectura Santa Cruz	Adolfo Mantilla	SED FMC
Juan Carlos Guzmán	HAM Cochabamba	Leocanio Mendoza	CONAM SRL
Jhonny Pérez	HAM Vinto - Cochabamba	Rolando Nogales	CONAM SRL
Daniel Flores	HAM Vinto - Cochabamba	Pedro Lino	CEDEAGRO
Mario Severich	HAM Colcapirhua - Cochabamba	Jorge Saba	APSAR
Juan Carlos Agudo	SAMAPA	Heinar Azurduy	PROHISABA
Ricardo Ayala	SEMAPA	Orlando Ortuño	DASOC
Carlos Guardia	SEMAPA	Miguel Moreno	SAE LABS ECO SERVI
Rolando Montenegro	COSPHUL	Humberto Cordero	Profesional independiente
Rolando De Chazal	SAGUAPAC	Oscar Álvarez	Profesional independiente
Fernando Trigo	SAGUAPAC		

ELABORACIÓN: AGUILAR & ASOCIADOS S.R.L.

Humberto Cáceres	Gerente de Saneamiento
Carlos España Vásquez	Consultor
Grover Rivera B.	Consultor
Iván Alvarez	Diseño Gráfico

FINANCIADOR:

Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional (Asdi)

Fecha de aprobación por el Comité Técnico 2004-06-12
Fecha de aprobación por el Consejo Rector
de Normalización 2004-07-29
Fecha de ratificación por la Directiva de IBNORCA 2004-08-12

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº Nº 104

La Paz 11 DIC 2007

CONSIDERANDO:

Que, el literal e) del Artículo 3º de la Ley Nº 3351, de 2 de febrero de 2006, Ley de Organización del Poder Ejecutivo, establece como atribución general de los Ministros: "Dictar normas relativas al ámbito de su competencia y resolver en última instancia, todo asunto administrativo que corresponda al Ministerio".

Que, el literal c) del Artículo 4º de la Ley Nº 3351 Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de 21 de febrero de 2006, establece que es atribución específica del Ministro del Agua, plantear y ejecutar, evaluar y fiscalizar las políticas y planes de servicio de agua potable y saneamiento básico, riego y manejo de cuencas, aguas internacionales y transfronterizas.

Que el Artículo 61 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, establece que en la estructura del Ministerio del Agua, es la siguiente: Viceministerio de Servicios Básicos, Viceministerio de Riego y Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos.

Los literales d) y e) del Artículo 63 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, dispone que son funciones del Viceministro de Servicios Básicos, entre otras, las siguientes: d) Promover normas técnicas, disposiciones reglamentarias e instructivos para el buen aprovechamiento y regulación de los servicios básicos y proponer por conducto regular proyectos de leyes y otras disposiciones para el sector; e) Difundir y vigilar la aplicación de políticas, planes, proyectos y normas técnicas para el establecimiento y operación de los servicios básicos, ejerciendo tuición sobre la Superintendencia de Saneamiento Básico.

Que, el objetivo fundamental de la Norma y sus Reglamentos Técnicos es estandarizar el diseño y optimizar costos de inversión para permitir el acceso a los servicios de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales a un mayor número de personas, priorizando sectores sociales de menores ingresos económicos.

Que, la Norma y sus Reglamentos Técnicos recogen en la presente versión experiencias de la práctica moderna de la ingeniería sanitaria y de la utilización de tecnologías alternativas en el país, transmitida y consensuada mediante un proceso de amplia participación y consulta con profesionales del país.

Que, es necesaria la edición, reimpresión y difusión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, para permitir su aplicación por parte de los profesionales del sector con carácter obligatorio en el ámbito urbano y rural del país.

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

Que, de acuerdo a los Informes VSB/UNI 016/2007 y VSB/UNI – 21/07, la Unidad de Normas e Institucionalidad, del Viceministerio de Servicios Básicos del Ministerio del Agua, recomienda la edición e impresión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, solicitando dar curso a la aprobación de la norma precitada así como a sus reglamentos.

POR TANTO:

El Ministro del Agua, en aplicación de sus atribuciones conferidas por ley.

RESUELVE:

Artículo 1º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "A".

Artículo 2º.- Aprobar los Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable, en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "B"

Artículo 3º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "C".

Artículo 4º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "D".

Artículo 5º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras", que forman parte de la presente Resolución como Anexo "E".

Artículo 5º.- Aprobar el Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, que forman parte integrante de la presente Resolución como Anexo "F".

Artículo 6º.- La Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, aprobadas mediante la presente Resolución Ministerial, deberán ser obligatoriamente aplicadas en todo el territorio nacional, por instituciones y profesionales del sector, en el diseño de sistemas de agua potable.

Artículo 7º.- Se autoriza al Viceministerio de Servicios Básicos para que en coordinación con la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua proceda a la edición, reimpresión, difusión y distribución en forma gratuita de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, a Municipios, Entidades e Instituciones públicas y privadas, bibliotecas universitarias, sociedades de profesionales, programas y proyectos del sector y otros priorizados por el Viceministerio de Servicios Básicos.

Artículo 8º.- El Viceministerio de Servicios Básicos y la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 9º.- Se abroga la Resolución Ministerial Nº 230/2004, de 07 de septiembre de 2004, emitida por el Ministerio de Servicios y Obras Publicas. Quedan abrogadas y derogadas todas las resoluciones contrarias a la presente Resolución Ministerial.

Regístrese, comuníquese, cúmplase y archívese.

Alcides Franco Torrico
VICEMINISTRO DE SERVICIOS BASICOS E.I.
MINISTERIO DEL AGUA

Walter Valda Rivera
MINISTRO DEL AGUA

Calle Capitán Castrillo Nº 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

PRESENTACIÓN

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas, a través del Viceministerio de Servicios Básicos, con el objetivo de disponer de un instrumento normativo para el diseño de sistemas de agua potable, pone a disposición de profesionales del país la presente Norma: “Instalaciones de agua - Diseño para sistemas de agua potable”, actualizada en base a los nuevos requerimientos del sector y los avances tecnológicos desarrollados en Bolivia en los últimos años.

Esta Norma tiene como objetivo fundamental, regir el diseño y consecuentemente la construcción de los sistemas de agua potable, para mejorar las condiciones de vida del ciudadano boliviano.

La presente Norma se constituye en un instrumento que debe ser conocido y aplicado de forma obligatoria por los responsables de las diferentes etapas de implementación de proyectos de abastecimiento de agua potable.

En la presente Norma se han incluido nuevos conceptos y criterios de diseño de acuerdo con los adelantos tecnológicos y prácticas de la ingeniería sanitaria de manera que puedan ser aplicados en proyectos tanto a nivel urbano como rural.

La actualización de esta Norma fue posible gracias a la participación de profesionales, instituciones y el apoyo de organizaciones como la Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional (Asdi), y otras que de manera desinteresada contribuyeron para que nuestro país cuente con este valioso instrumento técnico.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES 15
1.1 INTRODUCCIÓN 15
1.2 OBJETO 15
1.3 CAMPO DE APLICACIÓN 15
1.4 REFERENCIAS 15

CAPÍTULO 2 - ESTUDIOS Y PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO 17
2.1 DEFINICIÓN 17
2.2. ESTUDIOS BÁSICOS DE DISEÑO 17
2.2.1 Estudios técnicos 17
2.2.2 Estudios socio-económicos y culturales 17
2.2.3 Estudios ambientales 17
2.3 PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO 18
2.3.1 Población del proyecto 18
2.3.1.1 Métodos de cálculo 18
2.3.1.2 Aplicación 19
2.3.1.3 Criterio del proyectista 19
2.3.1.4 Correcciones a la población calculada 20
2.3.1.5 Área del proyecto 20
2.3.2 Consumo de agua 20
2.3.2.1 Dotación media diaria 21
2.3.2.2 Dotación futura de agua 22
2.3.3 Caudales de diseño 22
2.3.3.1 Caudal medio diario 22
2.3.3.2 Caudal máximo diario 23
2.3.3.3 Caudal máximo horario 23
2.3.3.4 Caudal industrial 23
2.3.3.5 Demanda contra incendio 23
2.3.4 Período de diseño 24

CAPÍTULO 3 - FUENTES DE AGUA 25
3.1 DEFINICIÓN 25
3.2 TIPOS DE FUENTES DE AGUA 25
3.3 SELECCIÓN DE FUENTES DE AGUA 25
3.4 FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL 25
3.4.1 Información necesaria 26
3.4.2 Caudales requeridos 26
3.4.3 Medición de caudales 26
3.5 FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA 26
3.5.1 Información necesaria 27
3.5.2 Caudales requeridos 27
3.5.3 Medición de caudales 27
3.6 FUENTES DE AGUA PLUVIAL 28

3.6.1 Información necesaria 28
3.7 RIESGOS SANITARIOS Y PROTECCIÓN DE FUENTES 28

CAPÍTULO 4 - CALIDAD DEL AGUA 29
4.1 DEFINICIÓN 29
4.2 CALIDAD DEL AGUA NO TRATADA....29
4.2.1 Criterios de calidad para la selección de la fuente de abastecimiento 29
4.2.2 Análisis de parámetros básicos para la caracterización 29
4.2.3 Prevención de muestras y métodos de análisis....30
4.3 CALIDAD DEL AGUA POTABLE 30
4.3.1 Calidad microbiológica....31
4.3.2 Calidad físico – química y radiológica 31

CAPÍTULO 5 - OBRAS DE CAPTACIÓN....32
5.1 DEFINICIÓN 32
5.2 TIPOS DE OBRAS DE CAPTACIÓN 32
5.3 OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES 32
5.3.1 Tipos de obras de captación de aguas superficiales 32
5.3.2 Información necesaria para el diseño de obras de captación de aguas superficiales 33
5.3.3 Capacidad de las obras de captación de aguas superficiales 33
5.3.4 Diseño de los elementos constitutivos de una obra de captación 33
5.3.5 Estructuras para la captación de agua superficial 34
5.4 OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 35
5.4.1 Tipos de obras de captación de aguas subterráneas 35
5.4.2 Información necesaria para el diseño de las obras de captación de aguas subterráneas 36
5.4.3 Capacidad de las obras de captación de aguas subterráneas 36
5.4.4 Diseño de la obra de captación de vertientes 36
5.4.5 Diseño de la obra de captación mediante galería filtrante 38
5.4.6 Diseño de pozos someros 39
5.4.7 Diseño de pozos profundos....40
5.4.7.1 Profundidad 40
5.4.7.2 Ubicación 40
5.4.7.3 Prueba de bombeo 41
5.4.7.4 Capacidad especifica....42
5.4.7.5 Prevención contra la contaminación....42
5.5 OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA....42
5.5.1 Tipos de captación de agua de lluvia 42
5.5.2 Diseño de la obra de captación....43

CAPÍTULO 6 - ADUCCIÓN DE AGUA 44
6.1 DEFINICIÓN 44
6.2 TIPOS DE ADUCCIÓN 44
6.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE ADUCCIÓN 44

6.4 DISEÑO DE LA ADUCCIÓN....45
6.4.1 Caudal de diseño....45
6.4.2 Ubicación....45
6.4.3 Trazado....45
6.4.4 Determinación de cotas....46
6.4.5 Materiales....46
6.4.6 Velocidad de escurrimiento....46
6.4.6.1 Canales....46
6.4.6.2 Tuberías a presión....47
6.4.7 Cálculo hidráulico....48
6.4.7.1 Canales....48
6.4.7.2 Tuberías a presión....48
6.4.8 Presiones máximas y mínimas....48
6.4.9 Diámetro mínimo....49
6.5 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS DE DISEÑO....49
6.5.1 Profundidad de instalación....49
6.5.2 Ubicación de válvulas....49
6.5.3 Estaciones reductoras de presión....50
6.5.4 Anclajes....50
6.5.5 Estructuras especiales....50

CAPÍTULO 7 - ESTACIONES DE BOMBEO....51
7.1 DEFINICIÓN....51
7.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO....51
7.3 ELEMENTOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO....51
7.4 UBICACIÓN....51
7.5 CAPACIDAD DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO....52
7.6 CRITERIOS DE DISEÑO....52
7.6.1 Carga neta positiva de succión (CNPS)....52
7.6.2 Sumergencia mínima....53
7.7 DISEÑO DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO....53
7.7.1 Selección de la bomba de agua....54
7.7.1.1 Condiciones generales....54
7.7.1.2 Tipo de bomba....55
7.7.1.3 Características electromecánicas de las bombas....55
7.7.1.4 Instalación de las bombas....56
7.7.2 Número de bombas a instalar....56
7.7.3 Cámara de bombeo....57
7.7.4 Caseta de bombeo....58
7.8 TUBERÍAS Y ACCESORIOS DE SUCCIÓN....58
7.9 TUBERÍAS Y ACCESORIOS DE IMPULSIÓN....59
7.10 FUENTE DE ENERGÍA....59
7.11 SISTEMAS DE OPERACIÓN, MEDICIÓN Y CONTROL....59
7.12 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MOVIMIENTO Y SERVICIO....59
7.13 PROYECTOS COMPLEMENTARIOS....60

CAPÍTULO 8 - TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA 61
8.1 DEFINICIÓN 61
8.2 GENERALIDADES 61
8.3 TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO 61
8.3.1 Considerando la ubicación sobre el terreno 61
8.3.2 Considerando el tipo de alimentación 61
8.4 INFORMACIÓN NECESARIA 62
8.5 CAPACIDAD DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO 62
8.5.1 Volumen de regulación 62
8.5.2 Volumen contra incendios 63
8.5.3 Volumen de reserva 64
8.5.4 Reducción de la capacidad del tanque 64
8.6 COTAS O NIVELES DE INSTALACIÓN 64
8.7 REQUERIMIENTO DE DISEÑO 64
8.8 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS 65
8.8.1 Generalidades 65
8.8.2 Accesorios 66
8.8.3 Aspectos complementarios 68

CAPÍTULO 9 - RED DE DISTRIBUCIÓN 71
9.1 DEFINICIÓN 71
9.2 TIPOS DE REDES 71
9.2.1 Red abierta o ramificada 71
9.2.2 Red cerrada o anillada 71
9.2.3 Red mixta o combinada 71
9.3 FORMAS DE DISTRIBUCIÓN 71
9.3.1 Distribución por gravedad 71
9.3.2 Distribución por bombeo directo a la red 71
9.4 INFORMACIÓN NECESARIA 72
9.5 DISEÑO DE REDES 72
9.5.1 Caudal de diseño 72
9.5.1.1 Determinación de caudales en redes cerradas 72
9.5.1.2 Determinación de caudales en redes abiertas 73
9.5.1.3 Determinación de caudal en piletas públicas 73
9.5.2 Área del proyecto 74
9.5.3 Delimitación de zonas de presión 74
9.5.4 Trazado de la red 74
9.5.5 Presiones de servicio 74
9.5.6 Velocidades 75
9.5.7 Diámetros mínimos 75
9.5.8 Análisis hidráulico 75
9.5.9 Ubicación de tuberías 76
9.5.10 Etapas de construcción 77
9.5.11 Materiales 77
9.5.12 Accesorios 77

9.5.13 Pendientes 77
9.5.14 Profundidad de instalación 77
9.5.15 Válvulas 78
9.5.16 Hidrantes 79
9.5.17 Dispositivos y obras complementarias 79

CAPÍTULO 10 - PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA 80
10.1 DEFINICIÓN 80
10.2 CONSIDERACIONES GENERALES 80
10.2.1 Tratamiento de las aguas 80
10.2.2 Tecnología aolicada 81
10.2.3 Operación y mantenimiento de la plantas 82
10.2.4 Aspectos técnicos - económicos y financieros 82
10.2.5 Aspectos ambientales 82
10.3 DEMANDA DE AGUA 82
10.4 PERIODO DE DISEÑO 82
10.5 UBICACIÓN DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS 83
10.6 CAPACIDAD NOMINAL DE DISEÑO DE LAS PLANTAS 83
10.7 ETAPAS O FASES DEL PROYECTO 83
10.8 LÍNEAS DE TRATAMIENTO 83
10.9 MEDICIÓN DE CAUDALES 83
10.10 REGULADORES DE RÉGIMEN HIDRÁULICO 84
10.11 OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS EN PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA 84
10.11.1 Transferencia de sólidos 84
10.11.2 Transferencia de iones, mezcla rápida y floculación 106
10.11.3 Transferencia de gases 111
10.11.4 Transferencia molecular 115
10.11.5 Procesos complementarios 115
10.12 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO 115
10.12.1 Por el tipo de procesos que comprende 115
10.12.2 Por la tecnología empleada 116
10.13 INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURA DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA 117
10.13.1 Casa de química 117
10.13.2 Laboratorios 117
10.13.3 Depósitos para Sustancias Químicas 117
10.13.4 Depósitos para otros insumos 118
10.14 RESIDUOS DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA 118

CAPÍTULO 11 - DESINFECCIÓN Y FLUORACIÓN DE AGUAS 120
11.1 DEFINICIÓN DE DESINFECCIÓN 120
11.2 FORMAS DE DESINFECCIÓN 120
11.2.1 Formas físicas 120
11.2.2 Formas químicas 121

11.3 CLORACIÓN....122
11.3.1 Formas de Aplicación....122
11.3.2 Dosificación....123
11.4 FLUORACIÓN....123
11.4.1 Dosificación....123
11.4.2 Formas de Aplicación....124

CAPÍTULO 12 - TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS....126
12.1 DEFINICIÓN....126
12.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍA SALTERNATIVAS....126
12.2.1 Captación de agua....127
12.2.1.1 Obras de protección de vertientes con cámaras de almacenamiento....127
12.2.1.2 Excavación manual de pozos y perforación manual de pozos profundos....127
12.2.1.3 Captación de aguas de lluvia para consumo humano....128
12.2.1.4 Captaciones de agua de lluvia en el suelo (atajados)....131
12.2.2 Tecnologías para la extracción de agua....131
12.2.2.1 Bombas manuales....131
12.2.2.2 Bombas eólicas....132
12.2.2.3 Bombas solares....132
12.2.2.4 Bombas de Ariete hidráulico....133
12.2.3 Almacenamiento de agua....133
12.2.3.1 Tanques de ferrocemento....133
12.2.3.2 Tanques plásticos....134
12.2.4 Tratamiento doméstico del agua....134
12.2.4.1 Filtración en arena a nivel domiciliario....134
12.2.4.2 Filtración con velas de cerámica porosa....135
12.2.4.3 Desalinizadores....135
12.2.5 Desinfección doméstica del agua para uso y consumo humano....136
12.2.5.1 Empleo de sustancias químicas....136
12.2.5.2 Desinfección Solar del agua....137
12.2.6 Técnologia para mantener la presión del agua en la red....138
12.2.6.1 Torre hidroneumática....138
12.3 SELECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS....138

GLOSARIO....141

ABREVITURAS Y NOMENCLATURA....149

Anexo A (Normativo):Criterios de calidad para la selección de la fuente....153

Anexo B (Normativo): Caraterización de fuentes de agua....158

Anexo C (Normativo):Trabajos topográficos....160

Anexo D (Normativo):Procesos de tratamiento....166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Aplicación de métodos de cálculo para la estimación de la población futura 19
Tabla 2.2. Dotación media diaria (l/hab-d).....21
Tabla 2.3. Valores del Coeficiente k_2 23
Tabla 2.4. Período de diseño (años) 24
Tabla 6.1. Velocidad máxima en canales revestidos (m/s) 47
Tabla 6.2. Velocidad máxima permisible en tuberías (m/s).....47
Tabla 7.1. Tipos de bombas eléctricas recomendadas por tipo de fuente.....55
Tabla 10.1. Cargas superficiales en desarenadores 85
Tabla 10.2. Cargas superficiales según Hazen 86
Tabla 10.3. Parámetros de diseño.....87
Tabla 10.4. Guía de selección de los procesos de tratamiento en sistemas de Filtración de Múltiples Etapas 91
Tabla 10.5. Guías de diseño para Filtros Gruesos Dinámicos 92
Tabla 10.6. Especificaciones del lecho filtrante recomendado para Filtros Gruesos Dinámicos 93
Tabla 10.7. Eficiencia remocional 93
Tabla 10.8. Guías de diseño para Filtros Gruesos Ascendentes 94
Tabla 10.9. Lecho filtrante recomendado para Filtros Gruesos Ascendentes.....95
Tabla 10.10. Eficiencias típicas de tratamiento para Filtros Gruesos Ascendentes 95
Tabla 10.11. Guías de diseño para Filtros Gruesos Descendentes 96
Tabla 10.12. Guías de diseño para Filtros Gruesos Horizontales en Serie 96
Tabla 10.13. Criterios de diseño recomendados por autores y países 98
Tabla 10.14. Criterios para la selección del sistema de tratamiento de agua por Filtración en Múltiples Etapas (FiME).....99
Tabla 10.15. Espesores y diámetros de la grava soporte 100
Tabla 10.16. Arena para filtros de tasa constante 102
Tabla 10.17. Alturas máximas y mínimas 103
Tabla 10.18. Tasas de filtración 103
Tabla 10.19. Granulometría de la capa soporte 104
Tabla 10.20. Valores admisibles en lechos filtrantes múltiples.....104
Tabla 10.21. Alturas de filtro de tasa declinante.....105
Tabla 10.22. Tasa de filtración y lavado 105
Tabla 10.23. Características del medio filtrante 106
Tabla 10.24. Altura total de filtros 106
Tabla 10.25. Compuestos coagulantes de uso en tratamientos de aguas de consumo humano 107
Tabla 10.26. Coadyuvantes de coagulación utilizados para el tratamiento de aguas 108
Tabla 10.27. Rango de gradientes hidráulicos para cada compartimiento o cámara 110
Tabla 10.28. Variación entre la densidad del agua, la viscosidad y la temperatura.....110
Tabla 10.29. Parámetros de diseño - aireadores de bandejas.....113
Tabla 10.30. Parámetros de diseño - aireadores de cascada 113
Tabla 10.31. Compuestos desinfectantes utilizados para el tratamiento de aguas 115

Tabla 11.1. Limites de concentración de fluoruros 124
Tabla 11.2. Datos sobre substancias fluoradoras.....124
Tabla 12.1. Coeficientes de escorrentía 129
Tabla 12.2. Espesores de pared para diferentes volúmenes de tanque de ferrocemento 134
Tabla 12.3. Filtros domiciliarios 135
Tabla 12.4. Cantidad de hipocloritos aplicables a diferentes volúmenes de agua para desinfectarla a dosis unitaria de 1 mg/l. 137

CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de sistemas de agua potable para poblaciones urbanas y rurales de la República de Bolivia, se ha venido desarrollando en base a la Norma Técnica de Diseño para Sistemas de Agua Potable NB 689 y a los Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable promulgadas por el entonces Ministerio de Desarrollo Humano en noviembre del año 1996.

Debido a los avances tecnológicos sobre el diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable que se han dado en los ultimos años, el Ministerio de Servicios y Obras Públicas, a través del Viceministerio de Servicios Básicos, ha encarado la actualización de la Norma y Reglamentos, con el propósito de incorporar y modificar conceptos, criterios y fórmulas que se ajusten a la realidad actual para el diseño de sistemas de agua potable en nuestro país. Para el efecto, se han tomado en cuenta las inquietudes de instituciones, profesionales y técnicos que trabajan en el sector.

El presente documento se ha actualizado con la finalidad de brindar a proyectistas, ejecutores, supervisores y fiscalizadores de un instrumento normativo para el diseño de proyectos de agua potable urbano, peri-urbano y rural de nuestro país.

1.2 OBJETO

La norma establece los criterios técnicos de diseño de sistemas de agua potable de carácter público y/o privado, en el área urbana, peri-urbana y rural del país, para obtener obras con calidad, seguridad, durabilidad y economía; y de esa manera, contribuir al mejoramiento del nivel de vida y salud de la población.

1.3 CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma se aplica a nivel nacional para el diseño, ejecución o control de sistemas de agua potable públicos y/o privados.

Es obligatorio el conocimiento y aplicación de la norma por el proyectista, ejecutor, supervisor y fiscalizador de la obra. Sin embargo, se podrán aplicar criterios de diseño, constructivos y métodos de control no especificados en la presente toda vez que se justifiquen técnicamente ante la Autoridad Competente.

1.4 REFERENCIAS

Las siguientes normas están asociadas o son complementarias a la presente norma:

NB 213 Tuberías plásticas - Tubos de policloruro de vinilo (PVC-U) no plastificado para conducción de agua potable..

NB 495 Agua potable - Definiciones y terminología.

NB 496 Agua potable – Muestreo.

NB 512 Agua potable - Requisitos .

NB 513 a la NB 539 Agua potable - Determinación de diferentes parámetros químicos..

NB 645 Tuberías de hierro dúctil, acoples y accesorios para líneas de tuberías de presión.

NB 646 Plásticos - Tubos de polietileno (PE) especificados por su diámetro interior.

NB 708 Tubos y accesorios de pared perfilada, fabricados en material termoplástico con superficie externa corrugada y superficie interna lisa - Requisitos técnicos (Correspondiente a la norma DIN 16961-2).

NB 763 Válvulas - Válvulas de mariposa con asiento elástico – Requisitos.

NB 764 Válvulas - Válvulas de compuerta para sistemas de acueducto y alcantarillado – Requisitos.

NB 765 Válvulas - Válvulas de compuerta con asiento elástico para agua y sistemas de alcantarillado - Requisitos.

NB 888 Tuberías y accesorios de plástico - Tubos de policloruro de vinilo (PVC) clasificados según la presión (Serie RDE ó SDR).

NB 1069 Tuberías plásticas de policloruro de vinilo no plastificado (PVC-U) esquemas 40 y 80 – Especificaciones y dimensiones.

CAPÍTULO 2
ESTUDIOS Y PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO

2.1 DEFINICIÓN

Los estudios y parámetros básicos de diseño, son un conjunto de procedimientos y valores necesarios para el desarrollo del proyecto, los cuales son obtenidos en base a estudios de campo, recolección de información técnica, económica, social, ambiental y cultural de la población a ser beneficiada por el proyecto.

2.2. ESTUDIOS BÁSICOS DE DISEÑO

Los estudios básicos deben ser realizados en el lugar del proyecto y con participación de la población beneficiaria, organizaciones e instituciones involucradas.

Se deben considerar en términos generales, sin ser limitativos los siguientes estudios básicos de diseño:

- Técnico.
- Socio-económico y cultural.
- Ambiental.

2.2.1 Estudios técnicos

Los estudios técnicos deben incluir:

- Evaluación de las posibles fuentes de agua.
- Evaluación de la cuenca.
- Reconocimiento geológico del área del proyecto.
- Estudios de suelos y geotécnicos.
- Trabajos topográficos; ver **Anexo C (Normativo)**.
- Evaluación del estado del sistema de abastecimiento de agua.

2.2.2 Estudios socio-económicos y culturales

Los estudios socio-económicos y culturales deben incluir:

- Población actual.
- Cobertura del servicio.
- Evaluación de la condición económica de la población.
- Evaluación de las condiciones sanitarias.
- Hábitos y costumbres sobre el manejo del agua.
- Evaluación de la salud con relación al agua.

2.2.3 Estudios ambientales

Los estudios ambientales deben incluir la evaluación de las condiciones del entorno ambiental en la zona del proyecto. Particularmente las referidas al uso y conservación de las fuentes hídricas e hidrogeológicas.

2.3 PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO

Los parámetros básicos de diseño deben ser establecidos considerando el área del proyecto y el período de vida útil del proyecto. Entre los parámetros básicos de diseño se deben considerar:

- Población del proyecto.
- Consumo de agua.
- Caudales de diseño.
- Período de diseño.

2.3.1 Población del proyecto

Es el número de habitantes que ha de ser servido por el proyecto para el período de diseño, el cual debe ser establecido con base en la población inicial.

Para la estimación de la población de proyecto se deben considerar los siguientes aspectos:

a) Población inicial, referida al número de habitantes dentro el área de proyecto que debe ser determinado mediante un censo poblacional y/o estudio socio-económico.

   Se aplicarán los datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadística (INE) para determinar la población de referencia o actual y los índices de crecimiento demográfico respectivos.

   Para poblaciones menores, en caso de no contar con índice de crecimiento poblacional, se debe adoptar el índice de crecimiento de la población capital o del municipio. Si el índice de crecimiento fuera negativo se debe adoptar como mínimo un índice de crecimiento de 1%.

b) Población futura, referida al número de habitantes dentro el área del proyecto que debe ser estimada en base a la población inicial, el índice de crecimiento poblacional y el período de diseño.

2.3.1.1 Métodos de cálculo

Para el cálculo de la población futura se pueden utilizar uno de los siguientes métodos de crecimiento, según el tipo de población, dependiendo de sus características socio-económicas.

a) Aritmético: $$P_f = P_o \left(1+\frac{i * t}{100}\right)$$

b) Geométrico: $$P_f = P_o \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$$

c) Exponencial: $$P_f = P_o * e^{\left(\frac{i * t}{100}\right)}$$

d) Curva logística: $$P_f = \frac{L}{1 + m * e^{(a*t)}}$$

Donde:

P_f	Población futura en habitantes
P_o	Población inicial en habitantes
i	Indice de crecimiento poblacional anual en porcentaje
t	Número de años de estudio o período de diseño
L	Valor de saturación de la población
m	Coeficiente
a	Coeficiente

$$L = \frac{2 * P_o * P_1 * P_2 - P_1^2(P_o + P_2)}{P_o * P_2 - P_1^2}$$

$$m = \frac{L - P_o}{P_o}$$

$$a = \frac{1}{t_1} \ln \left[\frac{P_o(L - P_1)}{P_1(L - P_o)} \right]$$

P_o, P_1, P_2	Población correspondiente a los tiempos t_o, t_1, y $t_2 = 2 * t_1$
t_o, t_1, t_2	Tiempo intercensal en años correspondiente a la población P_o, P_1, P_2

2.3.1.2 Aplicación

Los métodos a emplearse deben ser aplicados en función del tamaño de la población, de acuerdo a lo especificado en la **Tabla 2.1.**

Tabla 2.1. Aplicación de métodos de cálculo para la estimación de la población futura

Método	Población (habitantes)			
	Hasta 5 000	De 5 001 a 20 000	De 20 001 a 100 000	Mayores a 100 000
Aritmético	X	X		
Geométrico	X	X	X	X
Exponencial	X (2)	X (2)	X (1)	X
Curva logística				X

(1) Optativo, recomendable
(2) Sujeto a justificación

2.3.1.3 Criterio del proyectista

El ingeniero proyectista, podrá de acuerdo a las condiciones particulares de la localidad adoptar uno de los métodos recomendados o usar otro criterio, siempre que lo justifique técnicamente.

2.3.1.4 Correcciones a la población calculada

La población calculada según los métodos descritos, debe ser determinada y ajustada de acuerdo a las siguientes consideraciones:

a) Población estable.
b) Población flotante, se refiere a la población ocasional que signifique un aumento notable y distinto a la población estable.
c) Población migratoria, que depende de las condiciones de planificación sectorial en relación con los recursos naturales, humanos y/o económicos de cada localidad.

2.3.1.5 Área del proyecto

Se considera área de proyecto, a aquella que contará con el servicio de agua potable, para el período de diseño del proyecto.

La delimitación del área de proyecto debe seguir los lineamientos del plan de desarrollo de la población o planes maestros, o ser establecido de acuerdo a un estudio de áreas de expansión futura.

De acuerdo a la magnitud y características de la población, se deben diferenciar claramente las áreas de expansión futura, industriales, comerciales, de equipamiento y áreas verdes. El área de proyecto se debe dividir en subáreas de acuerdo a rangos de densidad poblacional y por sus características socioeconómicas como centros urbanos y zonas periurbanas.

En el área rural, se debe diferenciar las áreas de nucleamiento y las áreas de población dispersa y semidispersa.

Se debe señalar claramente los establecimientos educativos, cuarteles, hospitales, centros deportivos y otras instituciones, así como la capacidad de los mismos, que representan consumos de carácter público / institucional a ser considerados especialmente en el diseño de las redes de distribución.

2.3.2 Consumo de agua

La dotación mínima a adoptarse debe ser suficiente para satisfacer los requerimientos de consumo doméstico, comercial, industrial y público, considerando las pérdidas en la red de distribución.

La dotación de agua depende de los siguientes factores:

- Oferta de agua (capacidad de la fuente).
- Clima.
- Aspectos económicos y socio-culturales.
- Opción técnica y nivel de servicio (piletas públicas, conexiones domiciliarias y uso de bombas manuales).
- Tipo de consumo (medido, irrestricto y uso de limitadores de caudal).
- Servicio de alcantarillado.
- Condiciones de operación y mantenimiento.
- Pérdidas en el sistema.

a) Consumo doméstico

En la determinación del consumo doméstico se deben considerar:

- Sistemas con conexiones domiciliarias, en los que, la dotación debe ser suficiente para abastecer los diferentes usos: aseo personal, descarga de sanitarios, lavado de ropa, cocina, riego de jardines y lavado de pisos.

- Sistemas con piletas públicas, en los que, la dotación media diaria debe ser suficiente para satisfacer los requerimientos de: aseo personal, lavado de ropa y cocina.

b) Consumo comercial e industrial

Se deben analizar las necesidades y requisitos de cada caso, así como su incidencia en los consumos máximos horarios. Los consumos deben ser diferenciados según zonas debido a que los consumos son característicos del tipo de comercio e industrias asentadas en las diferentes zonas.

c) Consumo público

El consumo público debe satisfacer los requerimientos de instituciones públicas, lavado de calles, riego de parques y jardines, y demanda para combatir incendios.

d) Pérdidas

En la determinación del consumo de agua, debe también considerarse las pérdidas en la red de distribución, como un porcentaje de los anteriores consumos, el mismo que depende de:

- Las pérdidas físicas por fugas visibles y/o no visibles.
- Las pérdidas comerciales por conexiones clandestinas, malas lecturas en el medidor y/o mala facturación.

2.3.2.1 Dotación media diaria

La dotación media diaria se refiere al consumo anual total previsto en un centro poblado dividido por la población abastecida y el número de días del año. Es el volumen equivalente de agua utilizado por una persona en un día.

Para el caso de sistemas nuevos de agua potable, con conexiones domiciliarias, la dotación media diaria puede ser obtenida sobre la base de la población y la zona geográfica dada, según lo especificado en la **Tabla 2.2**.

Tabla 2.2. Dotación media diaria (l/hab-d)

Zona	Población (habitantes)					
	Hasta 500	De 501 a 2 000	De 2 001 a 5 000	De 5 001 a 20 000	De 20 001 a 100 000	Más de 100 000
Del Altiplano	30 - 50	30 - 70	50 - 80	80 - 100	100 - 150	150 - 200
De los Valles	50 - 70	50 - 90	70 - 100	100 - 140	150 - 200	200 - 250
De los Llanos	70 -90	70 - 110	90 - 120	120 - 180	200 - 250	250 - 350
Notas:	(1)			(2)		

(1) Justificar a través de un estudio social.
(2) Justificar a través de un estudio socio-económico.

Las dotaciones indicadas son referenciales y deben ajustarse sobre la base de estudios que identifiquen la demanda de agua, capacidad de la fuente de abastecimiento y las condiciones socioeconómicas de la población, podrán utilizarse datos de poblaciones con características similares.

Para sistemas nuevos de agua potable, en zonas rurales, como caso excepcional, donde la disponibilidad de agua no llegue a cubrir la demanda de la población (consumo restringido) se debe calcular la dotación en base al caudal mínimo de la fuente y la población futura.

En caso de establecer una dotación menor a 30 l/hab-d, no se deben considerar conexiones domiciliarias, solamente piletas públicas.

Para el caso de ampliación, incorporación o cambio de los componentes de un sistema existente, la dotación media diaria debe ser obtenida en base al análisis y resultados de los datos de producción y consumo del sistema. En forma previa al uso de los valores de consumo deberá efectuarse la verificación del equilibrio de caudales del sistema a fin de determinar los componentes debidos a pérdidas en cada uno de los componentes del sistema.

2.3.2.2 Dotación futura de agua

La dotación media diaria puede incrementarse de acuerdo a los factores que afectan el consumo y se justifica por el mayor hábito en el uso de agua y por la disponibilidad de la misma. Por lo que, se debe considerar en el proyecto una dotación futura para el período de diseño, la misma que debe ser utilizada para la estimación de los caudales de diseño.

La dotación futura se debe estimar con un incremento anual entre el 0,50% y el 2% de la dotación media diaria, aplicando la fórmula del método geométrico:

$$D_f = D_o \left(1+\frac{d}{100}\right)^t$$

Donde:
- D_f Dotación futura en l/hab-d
- D_o Dotación inicial en l/hab-d
- d Variación anual de la dotación en porcentaje
- t Número de años de estudio en años

2.3.3 Caudales de diseño

Los caudales de diseño deben ser estimados para el dimensionamiento de los diferentes componentes del sistema de agua potable.

Se deben considerar los siguientes caudales:

2.3.3.1 Caudal medio diario

Es el consumo medio diario de una población, obtenido en un año de registros. Se determina con base en la población del proyecto y dotación, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q_{md} = \frac{P_f * D_f}{86\,400}$$

Donde:
- Q_{md} Caudal medio diario en l/s
- P_f Población futura en hab.
- D_f Dotación futura en l/hab-d

2.3.3.2 Caudal máximo diario

Es la demanda máxima que se presenta en un día del año, es decir representa el día de mayor consumo del año. Se determina multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente k_1 que varía según las características de la población.

$$Q_{máx.d} = k_1 * Q_{md}$$

Donde:
- $Q_{máx.d}$ Caudal máximo diario en l/s
- k_1 Coeficiente de caudal máximo diario k_1 = 1,20 a 1,50
- Q_{md} Caudal medio diario en l/s

2.3.3.3 Caudal máximo horario

Es la demanda máxima que se presenta en una hora durante un año completo. Se determina multiplicando el caudal máximo diario por el coeficiente k_2 que varía, según el número de habitantes, de 1,5 a 2,2, tal como se presenta en la **Tabla 2.3.**

$$Q_{máx.h} = k_2 * Q_{máx.d}$$

Donde:
- $Q_{max.h}$ Caudal máximo horario en l/s
- k_2 Coeficiente de caudal máximo horario
- $Q_{máx.d}$ Caudal máximo diario en l/s

Tabla 2.3. Valores del Coeficiente k_2

Población (habitantes)	Coeficiente k_2
Hasta 2 000	2,20 – 2,00
De 2 001 a 10 000	2,00 – 1,80
De 10 001 a 100 000	1,80 – 1,50
Más de 100 000	1,50

2.3.3.4 Caudal industrial

Es la cantidad de agua que se requiere para atender la demanda industrial.

Los consumos industriales pueden ser establecidos en base a lo especificado en el Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias.

El caudal industrial se estimará tomado en cuenta dichos consumos y las características de cada tipo de industria.

2.3.3.5 Demanda contra incendio

Se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

a) Para poblaciones menores a 10 000 habitantes no es necesario y resulta antieconómico el proyectar demanda contra incendios, sin embargo el proyectista deberá justificar en los casos en que dicha protección sea necesaria.

b) Para poblaciones entre 10 000 y 100 000 habitantes, se debe considerar la protección contra incendios; sin embargo, el proyectista podrá justificar, técnica y económicamente si la protección no es necesaria.

c) Para poblaciones mayores a 100 000 habitantes se debe considerar la protección contra incendios, tomando en cuenta el volumen contra incendios y la ubicación de hidrantes en base a la planimetría y/o las zonas de servicio. Véase **8.5.2** y **9.5.16** respectivamente.

2.3.4 Período de diseño

El período de diseño es el número de años durante los cuales una obra determinada prestará con eficiencia el servicio para el cual fue diseñada.

Los factores que intervienen en la selección del período de diseño son:

- Vida útil de las estructuras y equipos tomando en cuenta la obsolescencia, desgaste y daños.
- Ampliaciones futuras y planeación de las etapas de construcción del proyecto.
- Cambios en el desarrollo social y económico de la población.
- Comportamiento hidráulico de las obras cuando éstas no estén funcionando a su plena capacidad.

El período de diseño debe ser adoptado en función del componente del sistema y la característica de la población, según lo indicado en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Período de diseño (años)

Componente del sistema	Población menor a 20 000 habitantes	Población mayor a 20 000 habitantes
Obra de captación	10 – 20	30
Aducción	20	30
Pozos profundos	10	15 - 20
Estaciones de bombeo	20	30
Plantas de tratamiento	15 - 20	20 - 30
Tanques de almacenamiento	20	20 - 30
Redes de distribución	20	30
Equipamiento:		
Equipos eléctricos	5 - 10	5 - 10
Equipos de combustión interna	5	5

El período de diseño podrá ser mayor o menor a los valores especificados en **Tabla 2.4**, siempre que el ingeniero proyectista lo justifique.

Con el fin de evitar inversiones mayores al inicio del proyecto y/o el sobredimensionamiento de las distintas unidades del sistema, referido a los requerimientos del período inicial del proyecto, se podrán definir etapas de construcción para los componentes susceptibles de crecimiento.

CAPÍTULO 3 - FUENTES DE AGUA

3.1 DEFINICIÓN

Se consideran fuentes de agua a los cursos de agua superficial, agua subterránea y agua de lluvia que son utilizados para abastecimiento público y privado.

3.2 TIPOS DE FUENTES DE AGUA

Para el desarrollo de proyectos de agua potable se deben consideran como fuentes de abastecimiento de agua, los siguientes tipos de fuentes:

a) Superficial.
b) Subterránea.
c) De lluvia.

3.3 SELECCIÓN DE FUENTES DE AGUA

Para la selección se deben considerar alternativas técnico-económicas factibles, tomando en cuenta lo siguiente:

a) La cantidad del agua.
b) La calidad del agua.
c) Ubicación respecto al centro de la población a ser abastecida (distancia y altura).
d) Posibilidad de construir una obra de captación.
e) Adicionalmente, se deben considerar eventuales efectos ambientales.

3.4 FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL

Entre los tipos de fuentes de aguas superficiales se consideran:

a) Cursos de agua natural (ríos, riachuelos, arroyos, quebradas)

Son cuerpos de agua que fluyen permanente o intermitentemente a través de depresiones geomorfológicas naturales y pueden ser:

- Cursos de agua de montaña, que se caracterizan por tener pendientes pronunciadas, arrastre intenso de sólidos en forma temporal, tirante bajo y altas velocidades.

- Cursos de agua de llanura, que se caracterizan por tener, pendientes bajas, tirante alto y bajas velocidades

b) Cuerpos de agua (lagos, lagunas)

Son depresiones geomorfológicas naturales que permiten la acumulación de agua con los aportes de afluentes y/o precipitaciones pluviales y pueden ser:

- Cuerpos de agua de montaña, que se caracterizan en general por tener áreas de aporte limitadas y aguas con bajo contenido de agentes contaminantes.

- Cuerpos de agua de llanura, que se caracterizan por tener áreas de aporte mayores a los de montaña.

3.4.1 Información necesaria

Para el estudio de fuentes superficiales de agua se deben considerar:

a) Cantidad de agua de la fuente.
b) Características hidrogeográficas de la cuenca.
c) Estudios hidrológicos.
d) Calidad del agua de la fuente.
e) Condiciones sanitarias y medioambientales de la cuenca.
f) Posibles sitios de captación.
g) Análisis de riesgos.

3.4.2 Caudales requeridos

De acuerdo con el tipo de fuente los caudales son los siguientes:

a) Ríos y arroyos:

El caudal mínimo de captación debe ser igual o mayor a:

- El caudal máximo horario cuando no hay tanque de almacenamiento.

- El caudal máximo diario cuando hay planta de tratamiento y/o tanque de almacenamiento.

Para el caso de ríos, el caudal de captación de agua deberá ser como promedio diario menor al 20% del caudal mínimo diario del río para un período mínimo de retorno de 5 años, tal como señala el artículo 48 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley del Medio Ambiente (Ley Nº 1333). Sin embargo, el ingeniero proyectista podrá utilizar un mayor porcentaje del caudal del río, si lo justifica sobre la base de convenios de cesión de caudales y/o argumentos técnicamente justificados ante la Autoridad Competente.

b) Lagos, lagunas

Debe satisfacer el caudal medio diario, tomando en cuenta el caudal y volúmenes de fluctuación anual.

3.4.3 Medición de caudales

La medición de caudal o aforo de la fuente de agua superficial debe realizarse en diferentes épocas del año (al menos dos veces al año). Un aforo obligatoriamente en época de estiaje y otros aforos complementarios dependiendo del tipo de fuente y el tipo de obra seleccionada.

El ingeniero proyectista debe evaluar la frecuencia y el tipo de aforos complementarios.

Para la realización del aforo pueden utilizarse diferentes métodos: Área – velocidad, vertederos y otras formas de medición debidamente justificadas.

3.5 FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA

Entre las fuentes de agua subterránea se consideran:

a) Vertientes o manantiales

Son afloramientos naturales de agua provenientes de acuíferos subterráneos. El afloramiento se produce cuando el acuífero intercepta una depresión del terreno, fracturas, grietas o cambios litológicos emergiendo como una o más venas. Según las características de cada tipo de acuífero, el caudal de la vertiente puede variar entre el período de lluvias y el de estiaje.

Los manantiales termales no deben ser considerados como fuente de abastecimiento de agua, por presentar un alto contenido de minerales.

b) Agua subsuperficial

Es el agua que se encuentra a poca profundidad del terreno, tiene recarga por infiltración de cuerpos de agua superficial y/o de lluvia.

c) Agua subterránea profunda

Es el agua proveniente de los acuíferos libres, confinados y semiconfinados, que se encuentran a profundidades mayores a los 30 m.

3.5.1 Información necesaria

Para un estudio de fuentes subterráneas de agua se debe considerar la siguiente información:

a) Características hidrogeológicas.
b) Capacidad de producción del acuífero.
c) Nivel freático.
d) Calidad del agua.
e) Posibles fuentes de contaminación.
f) Inventario y análisis de pozos existentes en la zona.
g) Dirección de flujo.
h) Franja de seguridad.

3.5.2 Caudales requeridos

Los caudales de captación deben ser iguales o mayores a:

a) El caudal máximo horario, cuando no hay tanque de almacenamiento.
b) El caudal máximo diario, cuando se dispone de planta de tratamiento y/o tanque de almacenamiento.

3.5.3 Medición de caudales

El aforo en vertientes puede realizarse mediante método volumétrico, método de recuperación, método de prueba de bombeo y otros.

La medición de caudal o aforo de la fuente de agua subterránea en pozos de bajo rendimiento (excavado) puede realizarse mediante el agotamiento parcial del pozo o una prueba de bombeo hasta que se estabilice el nivel dinámico para un caudal constante.

La determinación del caudal en pozos de alto rendimiento se podrá realizar mediante prueba de bombeo escalonada y de larga duración.

3.6 FUENTES DE AGUA PLUVIAL

La fuente de abastecimiento pluvial puede considerarse como:

- Fuente principal de consumo todo el año.
- Fuente complementaria a otra fuente para suministro de agua durante períodos limitados.

3.6.1 Información necesaria

a) Determinación de la demanda.
b) Determinación de la oferta.
c) Datos de precipitación pluvial.
d) Tipo de superficie de recolección.

El diseño y características de uso del agua de lluvia como fuente de abastecimiento, se describe en el Capítulo 12 de la presente Norma Boliviana NB 689

3.7 RIESGOS SANITARIOS Y PROTECCIÓN DE FUENTES

La calidad de las aguas tiene estrecha relación con los riesgos sanitarios existentes en la zona de captación. La evaluación de riesgo sanitario se debe realizar a partir de una encuesta de la zona de captación que revele las potenciales fuentes de contaminación tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas.

Toda zona de captación debe ser protegida, minimizando de esta manera el riesgo sanitario de contaminación.

Las zonas de protección deben estar delimitadas claramente y dentro de sus límites se deben restringir o prohibir actividades que pueden afectar la calidad del agua. Entre las actividades se incluyen el vertido de desechos tóxicos, la descarga de efluentes indeseables, las perforaciones, la minería, la explotación de canteras y el uso de fertilizantes agrícolas y plaguicidas. El proyectista debe identificar las actividades desarrolladas en la zona y las características de las descargas de efluentes, permitiéndole tomar medidas de protección necesarias.

Se reconocen tres zonas de protección para las aguas subterráneas:

a) La zona que rodea la fuente más expuesta a un riesgo de contaminación por gérmenes patógenos. Esta zona será una isócrona de 50 días.

b) La zona que rodea la fuente más expuesta a un riesgo de contaminación química. Su extensión variará y dependerá del tipo de acuífero y de la tasa de extracción, así como de la actividad industrial y agrícola que se desarrolle en la zona.

c) En toda la zona de captación.

Al planificar la extracción del agua de un acuífero para el consumo humano la distancia mínima de seguridad (DMS) debe fijarse sobre la base del tiempo que tardan los contaminantes en viajar desde su punto de origen hasta los acuíferos de agua de beber, ello dependerá de las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona, la cantidad de materia fecal que es previsible que se descargue y el número de fuentes de contaminación existentes y planeadas.

CAPÍTULO 4 - CALIDAD DEL AGUA

4.1 DEFINICIÓN

La calidad de las aguas se expresa mediante la caracterización de los elementos y compuestos presentes, en solución o en suspensión, que desvirtúan la composición original. La calidad del agua debe considerarse en la fuente y en los sistemas de agua potable.

4.2 CALIDAD DEL AGUA NO TRATADA

Las fuentes de agua potencialmente utilizables están constituidas por:

- Aguas superficiales (ríos, riachuelos, lagos, lagunas y represas).
- Aguas subterráneas (vertientes o manantiales, subálvea y profunda).
- Aguas de lluvia.

La calidad del agua es variable y debe ser caracterizada a través del tiempo para definir los parámetros a tratarse, así como el grado de tratamiento.

La calidad del agua debe ser establecida mediante la determinación de parámetros físicos, químicos, radiológicos y microbiológicos.

4.2.1 Criterios de calidad para la selección de la fuente de abastecimiento

Para establecer los criterios de calidad para la selección de la fuente de abastecimiento, las aguas no tratadas (crudas) se clasifican en 5 grupos; especificados como: Grupo I, II, III, IV y V, en los que se consideran la calidad físico – química, microbiológica, radiológica y los requerimientos de tratamiento.

Adicionalmente se consideran como parámetros complementarios de calidad: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), el Oxígeno Disuelto (OD) y la concentración de Cloruros, como indicador indirecto de contaminación fecal. Véase **Anexo A (Normativo**).

4.2.2 Análisis de parámetros básicos para la caracterización

El análisis de los parámetros básicos debe ser determinado en base a la información de campo obtenida y en consideración a la formación geológica de la fuente, usos del suelo, agricultura, existencia de industrias, agroindustria, minería u otras de relevancia y que tengan influencia en la calidad de las aguas.

Los análisis de los parámetros complementarios señalados en **Anexo A (Normativo**)**,** deben ser realizados a criterio del proyectista una vez evaluada la información de campo.

Necesariamente se deben realizar los análisis de parámetros físico – químicos, microbiológicos y radiológicos que permitan caracterizar la(s) fuente(s), según los siguientes criterios:

a) Caracterización de las aguas en poblaciones mayores a 10 000 habitantes

Para la caracterización de las aguas no tratadas, destinadas a consumo humano en poblaciones mayores a 10 000 habitantes, se deben analizar todos los parámetros especificados en la NB 512 a excepción de los compuestos inorgánicos tales como el cloro o los compuestos orgánicos que provienen o resultan del tratamiento de las aguas (Acrilamida y Epiclorhidrina).

Podrán no analizarse los parámetros correspondientes a los compuestos orgánicos tales como el benceno, Benzo(a)pireno, cloroformo, THM, cloruro de vinilo y cualquier hidrocarburo, plaguicidas totales, o plaguicidas específicos, metales pesados, así como la radiactividad en las aguas, exigidos en la Norma NB 512 si se verifica que en la zona de proyecto no existe actividad industrial, agrícola, minera intensa que de indicios de la contaminación de las aguas por efecto de las descargas de aguas residuales. En todo caso el proyectista justificará ante Autoridad Competente la no necesidad de realizarlos.

Los análisis físico – químicos, microbiológicos de las aguas y el radiológico de ser necesario, se deben realizar en laboratorios especializados y por personal técnico capacitado.

b) Caracterización de las aguas en poblaciones menores a 10 000 habitantes

Para la caracterización de las aguas no tratadas, destinadas a consumo humano en poblaciones menores a 10 000 habitantes, se deben realizar los análisis en laboratorios especializados, por personal técnico capacitado, que determinen la composición de las mismas en consideración a los parámetros físico – químicos y microbiológicos que se muestran en el **Anexo B (Normativo)**, donde se especifican en **Tabla 1**, los parámetros, sus unidades y el tiempo máximo de preservación recomendado para efectuar el análisis.

No queda excluida la posibilidad de ampliar los parámetros físico - químicos, microbiológicos y radiológicos a analizar, si el proyectista considera necesario hacerlo, de acuerdo a las características de la zona y los antecedentes existentes relacionados con la actividad que desarrolla (minera, agrícola, industrial) y tengan efectos sobre la calidad de las aguas.

En la **Tabla 2**, se especifica el valor máximo aceptable de los parámetros físico – químicos y microbiológicos correspondientes a los de la **Tabla 1**, establecido en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable - Requisitos).

4.2.3 Preservación de muestras y métodos de análisis

La preservación de las muestras de agua para realizar los análisis físico – químicos y microbiológicos serán los establecidos en los métodos normalizados APHA, AWWA, WPCF “Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Agua Residual”. También son válidos para caracterizar las aguas de las fuentes todos aquellos propuestos por las organizaciones reconocidas: ISO Standards, BSI Standards, DIN Standards, ASTM Standards y CEN Standards y aquellos reconocidos por la autoridad competente.

4.3 CALIDAD DEL AGUA POTABLE

El agua que se suministre mediante los sistemas de distribución, debe cumplir los requisitos físico-químicos, microbiológicos y radiológicos establecidos en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos).

4.3.1 Calidad microbiológica

Se asocia a las características microbiológicas del agua. El agua destinada a consumo humano no debe transmitir patógenos. Debe cumplir lo especificado en la NB 512 (Agua Potable – Requisitos).

4.3.2 Calidad físico – química y radiológica

Se asocia a las características físico – químicas y radiológicas del agua. El agua destinada a consumo debe cumplir los requisitos físico – químicos y radiológicos especificados en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos), de manera que no se afecte la salud de los consumidores, no perjudique otros usos o afecte al sistema de abastecimiento.

CAPÍTULO 5 - OBRAS DE CAPTACIÓN

5.1 DEFINICIÓN

Las obras de captación son estructuras y/o dispositivos que permiten el aprovechamiento y explotación racional del agua de una fuente determinada en forma continua, segura y sin detrimento de las condiciones hidrológicas, geológicas y ecológicas en los alrededores o aguas abajo de la obra de captación.

El tipo de obra de captación dependerá del tipo de fuente, condiciones morfológicas del área de captación, régimen hidráulico, cantidad y calidad de agua.

5.2 TIPOS DE OBRAS DE CAPTACIÓN

Las obras de captación pueden clasificarse en:

- Obras de captación de aguas superficiales.
- Obras de captación de aguas subterráneas.
- Obras de captación de aguas de lluvia.

5.3 OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

Una captación de agua superficial, es una obra civil, dispositivo o conjunto de ellas que permite captar agua desde un curso superficial de forma continua, segura y sin detrimento de las condiciones de vida de las especies animal ni vegetal.

5.3.1 Tipos de obras de captación de aguas superficiales

Las obras de captación a tomarse en cuenta pueden ser:

a) Obras de captación directa

- Canal de derivación: consiste en la construcción de un canal abierto en el margen de un curso superficial hasta una cámara colectora, desarenador o planta de tratamiento.

- Obra de captación lateral: es la obra que se construye en uno de los flancos de un curso de agua, de tal forma, que el agua ingrese a una cámara de recolección para su posterior conducción a través de tubería o canal.

- Obra de captación de fondo: es la obra que se construye en posición transversal en el fondo de los cursos de agua y esta protegida mediante rejas que permitan el paso del agua.

- Estaciones de bombeo directo: son estructuras y equipos de bombeo para explotación directa desde un curso de agua.

b) Obras de captación indirecta

- Lechos filtrantes o prefiltración: constituidos por uno o mas tubos perforados (drenes o filtros) introducidos transversal o diagonalmente en el lecho del río y cubiertos con material granular clasificado.

5.3.2 Información necesaria para el diseño de obras de captación de aguas superficiales

Para el diseño de obras de captación de aguas superficiales se deben considerar:

a) Datos básicos.
b) Estudios hidrológicos.
c) Estudios geotécnicos y geológicos.
d) Otros.

5.3.3 Capacidad de las obras de captación de aguas superficiales

a) Ríos y arroyos:

El caudal mínimo captado debe ser igual o mayor al:

- Caudal máximo horario cuando no hay tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento.

- Caudal máximo diario cuando hay tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento.

Para el caso de ríos, dichos caudales de captación de agua deberán ser como promedio diario menores al 20% del caudal mínimo diario del río para un período mínimo de retorno de 5 años, tal como señala el artículo 48 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley del Medio Ambiente (Ley 1333). Sin embargo, el ingeniero proyectista podrá utilizar un mayor porcentaje del caudal del río, si lo justifica sobre la base de convenios de cesión de caudales y/o argumentos técnicos, justificados ante la Autoridad Competente.

b) Lagos, lagunas y embalses

- Debe satisfacer el consumo medio diario, tomando en cuenta el caudal y volúmenes de fluctuación anual.

- El caudal de bombeo debe ser estimado en función del número de horas de bombeo y/o el diagrama de masas.

5.3.4 Diseño de los elementos constitutivos de una obra de captación

Los componentes de una obra de captación de aguas superficiales pdrán ser:

a) Boca de toma (reja).
b) Tubería filtro.
c) Lecho filtrante.
d) Conductos y canales.
e) Cámara colectora.
f) Dispositivos de regulación y control.
g) Dispositivos de medición.
h) Obras de encause y protección.

Para el diseño de dichos componentes se deben considerar los siguientes parámetros de diseño:

- Caudal de diseño.
- Velocidad de flujo en el canal.
- Velocidad de ingreso por los orificios.
- Tiempo de retención de sólidos.
- Peso específico del material sedimentable.

a) Ríos y arroyos:

El sitio de la captación debe estar fijado de manera que la corriente no amenace la seguridad de la estructura de captación y que no haya interferencia con la navegación en el caso de la captación superficial.

La boca de toma se localizará en un tramo de la corriente que esté a salvo de erosión como de azolve y en lo posible aguas arriba de cualquier descarga de aguas residuales.

La clave de la tubería se situará por debajo del nivel mínimo de las aguas de la corriente.

La estructura inmediata a la toma se proyectará para que la velocidad sea de 0,60 m/s o mayor a fin de evitar azolves. El límite máximo debe estar fijado por las características del agua y el material del conducto.

5.3.5 Estructuras para la captación de agua superficial

a) Presas de derivación, cuyas funciones principales son la retención y elevación del nivel de agua, de manera que permitan captar agua a través de:

- Tubería – filtro, en un lecho de filtración construido junto a la presa y aguas arriba.
- Tomas de fondo, (rejas horizontales) construidas en la parte superior de la presa de derivación.
- Tomas laterales, (rejas verticales) construidas a los costados de la presa.

b) Presas de almacenamiento o embalse, obras cuyas funciones principales son el almacenamiento y regulación del caudal de un curso superficial.

La capacidad del vaso de almacenamiento debe ser fijada con base en los estudios de aportes y demandas, de manera tal de estabilizar el escurrimiento de agua, ya sea regulando un establecimiento variable en una corriente natural o mediante la satisfacción de la demanda variable en el consumo, en las distintas épocas del año.

La obra de toma se debe proyectar de manera de tener varias entradas situadas a diferentes niveles, a fin de captar el agua próxima a la superficie.

Cada toma debe tener una rejilla con espacio libre de 2,00 cm a 5,00 cm y una válvula de control adecuada para la operación de la toma.

La velocidad del agua en la entrada de la toma no debe ser mayor a 0,60 m/s.

5.4 OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Son estructuras, dispositivos o un conjunto de ellas que permiten la explotación racional de un cuerpo o corriente de aguas subterráneas de forma continua, segura y sin detrimento de las condiciones hidrológicas, geológicas y ecológicas en los alrededores o aguas abajo.

5.4.1 Tipos de obras de captación de aguas subterráneas

Las obras de captación a tomarse en cuenta pueden ser:

a) Captación de vertientes

Son obras que protegen los afloramientos naturales de agua subterránea de cualquier tipo de contaminación y permiten el ingreso de agua a los elementos de conducción de agua hacia el tanque de almacenamiento, distribución o planta de tratamiento.

Las obras de captación de vertientes pueden ser:

- De fondo, cuando se capta agua que emerge en terreno llano.
- De ladera o lateral, cuando se realiza la protección de una vertiente que aflora a una superficie tipo plano inclinado con carácter puntual o disperso.
- De bofedal, cuando el afloramiento de la vertiente se realiza por múltiples “venas de agua” anegando el terreno y debiendo emplearse un colector para captar la totalidad del agua.

b) Estructura filtrante (Galería filtrante)

Es la estructura que permite captar agua subsuperficial a través de la construcción de una bóveda subterránea, mediante la instalación de tuberías de infiltración o la construcción de canales de infiltración, próximos al curso de agua superficial, ya sea en forma transversal o paralela.

Las estructuras filtrantes pueden ser:

- Tipo galería o bóveda.
- Tubería de infiltración.
- Canal de infiltración.

La finalidad de estas obras, es interceptar el flujo natural del agua subsuperficial, para que ingrese, por gravedad, al interior de la estructura o tubería y sea conducida hacia una cámara recolectora en una de las márgenes del río.

c) Pozos

Los pozos son obras que se realizan para captar aguas subsuperficiales y subterráneas.

Los pozos se clasifican en:

i) Pozos someros, captan agua subsuperficial de acuíferos de poca profundidad, hasta los 30 m. Pueden ser:

- Excavados.
- Perforados.

ii) Pozos profundos, captan agua subterránea a profundidades mayores a los 30 m. Pueden ser:

- Perforados manualmente.
- Perforados con maquinaria.

La perforación manual corresponde a una técnica que utiliza equipos simples para perforar pozos de pequeño diámetro empleando los métodos de rotación y percusión, en terrenos de baja concentración de material granular.

Los pozos perforados con máquina permiten captar aguas subterráneas profundas y requieren equipos de perforación especiales. Las técnicas de perforado podrán ser de percusión, rotación directa o reversa, inyección y otros.

La selección del tipo de pozo que se necesite dependerá de los siguientes factores:

- Cantidad y calidad de agua requerida.
- Profundidad del agua subterránea.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Disponibilidad del equipo para la construcción de pozos.
- Factores económicos.

5.4.2 Información necesaria para el diseño de las obras de captación de aguas subterráneas

Para el diseño de obras de captación de aguas subterráneas se deben considerar:

a) Información del área de perforación.
b) Estudios hidrogeológicos.
c) Otros.

5.4.3 Capacidad de las obras de captación de aguas subterráneas

El caudal a captar debe ser igual o mayor al:

a) Caudal máximo horario cuando no hay tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento.

b) Caudal máximo diario cuando hay tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento.

5.4.4 Diseño de la obra de captación de vertientes

Para el diseño de captación de vertientes, se debe recabar la información relativa a las características hidrogeológicas de la cuenca especificada en el Capítulo 2 de la presente Norma.

El proyecto debe tomar en cuenta la protección de los afloramientos para evitar que se obturen y se contaminen. Esto debe ser realizado a través de la construcción de una cámara que permita la protección sanitaria de la fuente.

La obra de captación de una vertiente debe contar con los siguientes dispositivos:

a) Cámara de captación hermética.
b) Criba en la entrada de la tubería de aducción.

c) Vertedero de excedencias al nivel de los afloramientos o tubería de rebose.
d) Tubería de aducción y válvula de cierre.
e) Tubería de limpieza.
f) Tubería de ventilación.
g) Zanja de coronamiento para interceptar el escurrimiento de aguas pluviales.
h) Cerco perimetral de protección para evitar el acceso de animales y personas.

La obra de captación de vertiente debe cumplir las siguientes condiciones:

a) Debe estar realizada de manera que no altere la calidad del agua, garantice el libre escurrimiento hacia la cámara de toma y no interfiera el régimen hidráulico de la fuente.

b) La tubería de salida debe estar ubicada al menos a 0,10 m del fondo de la cámara colectora y deberá disponer de criba o filtro de entrada con orificios de 2 mm a 5 mm. El diámetro debe ser calculado a partir del caudal de diseño.

c) Debe contar con un dispositivo de rebose que permita la salida de los caudales de excedencia sin retrocargar el manantial. El dispositivo debe diseñarse como vertedero o tubería. El diámetro debe garantizar la evacuación del caudal máximo de la vertiente

d) En el fondo de la cámara de toma se debe disponer de un acumulador de arenas acarreadas por las aguas y facilitar su limpieza periódica.

e) Se debe diseñar una tubería de limpieza, al nivel del piso de la cámara colectora. El piso debe tener una pendiente mayor o igual a 1,50% para permitir la limpieza de sedimentos. El diámetro mínimo de la tubería de limpieza debe ser un diámetro comercial mayor al de la tubería de aducción.

f) La cámara de toma debe contar con una tubería de ventilación, ubicada en su parte superior. Debe incorporar una malla milimétrica para evitar el ingreso de insectos y animales.

g) La cámara debe contar con una tapa sanitaria de 0,60 m x 0,60 m con cierre hermético para evitar ingreso de aguas superficiales, insectos, roedores y todo elemento extraño.

Las dimensiones de la obra de toma deben ser calculadas en función del caudal de diseño y la capacidad de producción de la vertiente.

Si la vertiente se presenta como un afloramiento único y localizado, la obra debe ser diseñada construyendo el fondo natural de la vertiente, hasta alcanzar el manto acuífero. A continuación de la cámara de toma se debe ubicar la cámara de válvulas.

En el caso en que se presenten varios manantiales cercanos unos a otros, la captación debe proyectarse con varias cámaras de toma conectadas a una cámara común.

Si el afloramiento se presenta a lo largo de una sola línea, bofedales o terrenos anegadizos, se debe captar la cantidad necesaria de agua mediante tubos perforados con orificios o ranuras de 2 mm a 4 mm, instalados dentro de un dren ciego construido con material granular seleccionado de diámetro variable entre 1,00 cm y 8,00 cm, que funcionen como colectores y conduzcan las aguas hacia una cámara colectora.

La estructura de captación del vertiente puede ser ejecutada en mampostería de ladrillo gambote, piedra, H°C° u H°A°, con revestimiento interior impermeabilizante en todas sus paredes de 2 cm de espesor como mínimo, para garantizar la hermeticidad de la misma.

Los materiales empleados no deben alterar la calidad de las aguas.

Los conductos dentro la cámara de toma y cámara de válvulas deben ser de PVC, FG u otro material de acuerdo a lo especificado en el Reglamento de Tuberías, Accesorios y Válvulas.

Las tuberías ubicadas fuera de las cámaras deben seleccionarse en cuanto a clase y material en función de la topografía de la zona, presiones y esfuerzos a que estén sometidos, características químicas del agua y grado de agresividad del suelo.

En caso de suelos corrosivos deben proyectarse las protecciones adecuadas.

5.4.5 Diseño de la obra de captación mediante galería filtrante

Las galerías filtrantes deben ubicarse en acuíferos que tengan un coeficiente de permeabilidad que permita captar al menos el doble del caudal de diseño y la fuente tenga características químicas aceptables, que la hagan utilizable.

En el lugar elegido para la construcción de la galería, se debe obtener el perfil geológico del terreno a través de pozos de observación y/o sondeos geofísicos, en función de la magnitud del proyecto. Además, se debe obtener la granulometría del lecho para determinar las características del material filtrante.

La capacidad y el coeficiente de permeabilidad del acuífero deben ser determinadas mediante pruebas de bombeo.

El material filtrante debe estar dispuesto de tal manera que las líneas de flujo sean perpendiculares al mismo y dispuestas en capas, con una granulometría tal, que aseguren una adecuada permeabilidad y estabilidad.

El material filtrante debe tener una granulometría adecuada en relación a la granulometría del lecho.

El material más fino debe ser mayor o igual al diámetro mínimo de la granulometría del lecho. El material granular de mayor tamaño debe tener un diámetro mayor o igual al tamaño medio de los cantos rodados del curso de agua. La grava y la arena deben colocarse en capas estratificadas de espesores adecuados y concentrícos al tubo o canal, de tal forma que los tamaños vayan disminuyendo de un máximo en el fondo (interior) hasta un mínimo en la parte superior (exterior).

De acuerdo a las características de la corriente superficial o subterránea, la galería filtrante se debe construir en forma transversal o paralela a la misma.

Si se utilizan galerías filtrantes tipo túnel, en las paredes y cúpula de la bóveda, se deben disponer orificios o barbacanas de 2,00 cm a 5,00 cm construidos al tres bolillo cada 15 cm a 25 cm de separación entre ellas.

Si se utilizan tuberías de infiltración, la tubería colectora debe ubicarse en el fondo de la zanja, su diámetro debe ser determinado en función a las características del escurrimiento del agua, caudal que se requiera captar y de las condiciones de operación y mantenimiento. En ningún caso, el diámetro de la tubería debe ser menor a 100 mm.

La tubería debe ser resistente a la corrosión del agua. El diámetro de los orificios varía de 2,5 cm a 5,0 cm dispuestos al tres bolillo con una separación de 15 cm a 25 cm y las ranuras deben ser de 2 mm a 10 mm. El área total de los orificios o ranuras debe calcularse fijando una velocidad máxima a través de ellos de 0,05 m/s a 0,10 m/s. El coeficiente de entrada por orificio debe ser de 0,55.

La velocidad de escurrimiento en la tubería colectora no debe ser menor a 0,50 m/s para lograr su auto limpieza ni mayor a 1,0 m/s para limitar las pérdidas de carga.

Si se utiliza canales de infiltración, éste debe tener en su parte superior ranuras cuyo tamaño debe estar entre 1 cm a 3 cm de ancho.

Todos los drenes o barbacanas, deben estar por debajo del nivel freático mínimo, siendo éste el correspondiente a un período de estiaje.

Deben preverse accesos por lo menos en los extremos de la galería para efectuar el mantenimiento correspondiente.

Para la inspección de la galería, el pozo colector debe ubicarse en el extremo inferior, a partir del cual se construye la tubería de aducción.

El sistema de captación debe estar provisto de medios o dispositivos que permitan su fácil limpieza y desinfección.

5.4.6 Diseño de pozos someros

Los pozos someros deben construirse mediante excavación cuando se vea conveniente explotar las aguas freáticas y/o subsuperficiales ubicadas a profundidades menores a 30 m.

La explotación de los pozos excavados puede realizarse mediante bombas manuales, bombas eólicas, solares, eléctricas y/o accionadas por motores a combustión.

Para pozos excavados manualmente, el diámetro efectivo mínimo debe ser de 1,00 m.

En pozos perforados manualmente, el diámetro mínimo entubado debe ser de 50 mm.

La profundidad del pozo debe ser tal que garantice durante todo el año el caudal de extracción previsto. La distancia mínima entre la válvula de pie y el nivel de abatimiento en época de estiaje (sumergencia mínima) debe ser de 0,50 m.

La distancia entre la válvula de pie y el fondo del pozo debe ser de 0,50 m para evitar la succión de sólidos.

En pozos con ademe de concreto, la parte ubicada en el estrato permeable debe llevar perforaciones dimensionadas previo estudio granulométrico del acuífero. El diámetro mínimo de las perforaciones, dependiendo de la granulometría, debe estar entre 10 mm a 25 mm, colocados al tres bolillo a distancias de 15 cm a 25 cm.

En pozos con ademe de mampostería de piedra o ladrillo gambote se deben dejar espacios en la zona correspondiente al estrato permeable, de acuerdo a lo especificado en el anterior párrafo.

En los pozos excavados se debe prever siempre la construcción de un sello sanitario que consiste en el hormigonado o impermeabilización de la parte superior del pozo, hasta una profundidad mínima de 3 m, en función de la fuente de contaminación y permeabilidad del material del subsuelo. Asimismo, se debe prever la ejecución de una losa de protección perimetral al pozo, sobre el nivel del terreno. El brocal del pozo debe sobresalir al menos 0,30 m por encima de la losa de protección.

La cubierta o tapa del pozo debe construirse en H°A° provista de una tapa sanitaria de inspección con cierre hermético de 0,60 m x 0,60 m.

5.4.7 Diseño de pozos profundos

El sitio para la perforación y la profundidad del pozo debe estar basado en estudios hidrogeológicos y geofísicos de la zona.

El diámetro del pozo debe ser seleccionado en función del caudal de agua requerido, características del acuífero y equipo de perforación a emplearse. Para caudales menores a 20 m^3/h, el proyectista podrá utilizar un diámetro mínimo de 100 mm.

El diámetro y profundidad del entubado debe estar acorde con el diámetro final del pozo perforado y de los resultados que se obtengan mediante el registro eléctrico que se hará posteriormente a la perforación del pozo piloto.

El espacio anular mínimo entre la pared del pozo y el entubado debe ser de 0,05 m a cada lado.

Hasta la profundidad donde debe ir dispuesta la bomba, el diámetro del entubado debe tener al menos una holgura de 0,05 m mayor a los tazones de la bomba.

El diámetro del ademe debe definirse en función de la capacidad del equipo de bombeo calculado para garantizar el caudal de explotación programado. Asimismo, debe preverse una holgura adecuada para efectos de instalación, de manera que no se presenten riesgos de atascamiento por diferencias en la verticalidad del pozo.

5.4.7.1 Profundidad

La profundidad del pozo debe ser tal, que logre penetrar en el acuífero, para captar el caudal requerido, con el objeto de disponer una longitud adecuada de filtro para satisfacer los requerimientos del proyecto.

En acuíferos libres con espesores saturados inferiores a 30 m, el pozo debe penetrar todo el espesor del acuífero, para aprovechar al máximo su capacidad productiva, previéndose la colocación del filtro desde el fondo hasta un máximo de la mitad del espesor saturado.

En acuíferos confinados, el pozo debe penetrar todo el espesor del acuífero si el mismo fuera inferior a 30 m, previéndose la colocación del filtro en una extensión del 80% del espesor del acuífero. En acuíferos libres o confinados, con espesores mayores a 30 m, debe realizarse un estudio técnico económico para fijar la posición de entrada de agua en el pozo.

5.4.7.2 Ubicación

Para la ubicación de los pozos se deben tener en cuenta los siguientes factores:

a) El sistema de operación de pozos.
b) Potencia adicional e incremento de los costos por interferencia de pozos que estén uno cerca del otro.

El sitio para la perforación y la profundidad del pozo debe estar basado en estudios hidrogeológicos y geofísicos de la zona.

La distancia mínima entre pozos debe estar fijada en función del radio de influencia del pozo, determinada mediante pruebas de bombeo en el pozo de producción y el control de niveles en el pozo de observación, de acuerdo a la profundidad de los mismos.

Los datos de la prueba de bombeo deben ser utilizados también para evaluar la interferencia entre cada uno de los pozos.

La depresión del cono de influencia en un sitio dado, como resultado del bombeo simultáneo de varios pozos, es igual a la suma de las depresiones producidas en el mismo sitio por el bombeo individual de cada uno de los pozos.

Excepcionalmente, cuando no exista información sobre pruebas de bombeo que hayan determinado el radio de influencia en la zona del proyecto, la distancia mínima entre pozos debe ser de al menos 500 m.

5.4.7.3 Prueba de bombeo

En las pruebas de bombeo deben utilizarse pozos de prueba, o un pozo permanente con uno o más pozos de observación, que deben estar a una distancia no menor a 15 m del pozo productor, con un diámetro mínimo de 100 mm.

La duración mínima de la prueba de bombeo debe ser de 24 horas. Previa a ésta prueba se debe realizar una prueba escalonada para determinar el caudal óptimo de bombeo para la prueba de larga duración.

Durante la prueba de larga duración, se debe obtener la siguiente información:

a) Nivel estático inicial de cada pozo.
b) Caudal de bombeo, medido con espacios de 1, 3, 5, 10, 20, 40, 60 minutos, cada hora, cada 2 horas y cada 3 horas, hasta completar las 24 horas.
c) Nivel dinámico de bombeo, determinado en correspondencia con los tiempos en que se mide el caudal.
d) Velocidad de recuperación del acuífero.
e) Durante la prueba deben tomarse por lo menos dos muestras de agua, una a la mitad del tiempo de bombeo y otra al final para realizar el análisis físico químico y bacteriológico.
f) Si existen variaciones significativas de la calidad del agua, se deben tomar muestras a intervalos menores, suficientes para indicar dichas variaciones.
g) Se deben registrar los niveles de agua en los pozos de observación, con una exactitud de 0,10 m.
h) Se debe elaborar un gráfico representativo de la variación caudal - abatimiento, para determinar el caudal de explotación y otro abatimiento - tiempo para determinar el coeficiente de transmisibilidad, capacidad específica del pozo, radio de influencia y otros parámetros hidráulicos del pozo.

5.4.7.4 Capacidad especifica

La capacidad específica se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CE = \frac{R}{A}$$

Donde:
- CE Capacidad Especifica en l/s-m de abatimiento
- R Rendimiento, Producción de agua en l/s
- A Abatimiento en m
  A = Nivel estático – Nivel dinámico

La capacidad específica debe utilizarse para determinar las características del equipo de bombeo.

5.4.7.5 Prevención contra la contaminación

Se deben prever dispositivos y medidas de protección para que el pozo no se constituya en un vehículo de contaminación de las reservas de agua subterránea.

Los pozos antiguos u obsoletos deben ser tapados y/o sellados, extrayendo si es posible, la tubería de revestimiento, filtro y demás accesorios del pozo.

5.5 OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

Son estructuras, dispositivos o un conjunto de ellas que permiten la captación de agua de lluvia para consumo humano, interceptando y recolectando el agua en depósitos, tanques de almacenamiento o atajados.

5.5.1 Tipos de captación de agua de lluvia

Entre los tipos de captación de agua de lluvia se pueden considerar:

a) Captación en la superficie del suelo

Se emplearán en zonas donde los períodos de lluvia son cortos e intensos, se pueden almacenar grandes cantidades de agua a través de estanques o atajados construidos por debajo del nivel del terreno.

Para evitar la contaminación del agua por parte de los animales, se debe construir un cerco de protección.

En general el agua recolectada por este sistema debe ser tratada y desinfectada antes de ser utilizada para el consumo doméstico.

b) Captación en techos

Están destinadas principalmente al abastecimiento familiar, se recomienda donde las condiciones de la superficie del techo de la vivienda lo permitan. Se deben emplear en zonas donde los períodos de sequía no son muy largos o en zonas donde existe lluvia durante períodos prolongados.

5.5.2 Diseño de la obra de captación

Para el diseño de las obras de captación de agua de lluvia en techos, deben considerarse los siguientes aspectos:

a) Datos de precipitación pluvial.
b) Tipos de superficies en techos.
c) Cálculo del volumen para la captación.

CAPÍTULO 6 - ADUCCIÓN DE AGUA

6.1 DEFINICIÓN

Se denomina aducción, al conjunto de tuberías, canales, túneles, dispositivos y obras civiles que permiten el transporte del agua, desde la obra de captación hasta la planta de tratamiento, tanque de almacenamiento o directamente a la red de distribución.

6.2 TIPOS DE ADUCCIÓN

En el diseño de aducciones se pueden considerar los siguientes tipos:

a) Aducción por gravedad

- Aducción por conductos y canales a superficie libre, en la que el agua se conduce a una presión igual a la atmosférica, pueden ser túneles, tuberías y canales en general.

- Aducción por conductos cerrados a presión, en la que el agua se conduce a presiones superiores a la presión atmosférica, son generalmente tuberías de agua a sección llena.

En lo posible debe utilizarse la aducción por conductos cerrados a presión, debido a las dificultades que presentan los canales en su construcción y mantenimiento, pero fundamentalmente debido a que están más expuestos a contaminación.

b) Aducción por bombeo

- Bombeo en serie, en la que se impulsa el agua con dos o más bombas instaladas en la misma línea de impulsión.

- Bombeo en paralelo, en la que se impulsa el agua con dos o más bombas instaladas en sus respectivas líneas de impulsión.

- Bombeo por etapas, en la que se impulsa el agua de un nivel inferior a otro superior en más de una etapa.

c) Aducciones mixtas, en la que el agua se puede conducir por canales o conductos a superficie libre, conductos a presión por gravedad o por bombeo, en cualquier secuencia y dimensiones.

6.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE ADUCCIÓN

Para la selección del tipo de aducción deben considerarse:

- Ubicación de la obra de captación respecto al centro poblado.
- Topografía de la zona o área de proyecto.
- Presiones máximas y mínimas.
- Características del suelo.
- Fuentes de energía disponibles.

6.4 DISEÑO DE LA ADUCCIÓN

6.4.1 Caudal de diseño

El caudal de diseño de las obras de aducción depende del sistema de abastecimiento de agua.

a) Si el sistema es por gravedad y cuenta con un tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento la obra de aducción debe calcularse con el caudal máximo diario.

b) Si el sistema es por gravedad y no cuenta con un tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento, y la aducción se efectúa directamente a la red, la obra de aducción debe calcularse con el caudal máximo horario.

c) Si la aducción es por bombeo y el sistema incluye tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento debe estimarse en función al caudal máximo diario y el número de horas de bombeo; en cambio si el sistema no incluye tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento y el bombeo es directo a la red la capacidad debe ser igual al caudal máximo horario.

6.4.2 Ubicación

Para definir la ubicación de las obras de aducción se requieren:

a) Planos topográficos.
b) Estudio de suelos (en caso necesario).
c) Características de subsuelo (en caso necesario).
d) Datos geológicos (en caso necesario).
e) Requerimientos de obras de arte (puentes, sifones, cruces de carreteras, ferrocarriles y otros).
f) Derechos de propiedad y uso de la tierra.

6.4.3 Trazado

El trazado de la aducción debe realizarse, previo reconocimiento en campo del relieve topográfico, reconocimiento geológico y tipo de suelo, en lo posible paralelo a vías públicas y caminos de uso general de la población. Si se deben atravesar predios privados se debe establecer la correspondiente servidumbre.

En el trazado de la aducción se deben considerar además del caudal de diseño, vida útil y análisis económico, los siguientes factores:

a) Que la conducción sea cerrada (en lo posible a presión).
b) Que el trazado sea lo más directo posible de la fuente a la planta de tratamiento y/o tanque de almacenamiento o red de distribución.
c) Que la línea evite, en lo posible, los tramos de difícil construcción o inaccesibles.
d) Que esté siempre por debajo de la línea piezométrica a fin de evitar zonas de depresión que representan un peligro de aplastamiento de la tubería y posibilidad de cavitación (en tuberías a presión).
e) Que se eviten presiones superiores a las máximas permisibles que afecten la seguridad de la aducción (en tuberías a presión).

f) Que en lo pasible sean paralelos a los caminos de acceso o vías férreas.
g) Que la línea evite, en lo posible, zonas de deslizamiento e inundaciones.
h) Que se eviten tramos de pendiente y contrapendiente que pueden causar bloqueos de aire en la línea.

6.4.4 Determinación de cotas

Se deben determinar las cotas del terreno de los siguientes puntos:

- Obra de toma.
- Pasos de los accidentes topográficos sobre la línea del trazado.
- Cambios bruscos de sentido y pendiente.
- Tanque de almacenamiento o planta de tratamiento.
- Otros puntos relevantes del terreno que determinen el trazado de la tubería.

La diferencia de elevación entre el punto de ingreso de agua y cualquier punto tubería abajo, determinará la presión estática interna en la tubería.

La presión estática entre los diferentes puntos de la aducción, determinará el material y las características mecánicas de trabajo de la tubería y la necesidad de colocar válvulas o cámaras rompe presión.

6.4.5 Materiales

La elección del material debe ser efectuada con base en:

a) Las características topográficas.
b) Calidad del agua.
c) Tipo de suelo.
d) Resistencia a la corrosión y agresividad del suelo.
e) Resistencia a esfuerzos mecánicos producidos por cargas externas e internas.
f) Características de comportamiento hidráulico (velocidades, presiones, golpe de ariete).
g) Vida útil del proyecto.
h) Costos de operación y mantenimiento.
i) Análisis económico.

Para tuberías a presión, los materiales deben ser elegidos en función de la presión nominal y de trabajo, la cual debe ser proporcionada por el fabricante. El material utilizado debe contar con una certificación de calidad, o en su caso, cuando las certificaciones provengan de otros países, ésta debe ser homologada por el IBNORCA.

6.4.6 Velocidad de escurrimiento

6.4.6.1 Canales

Las velocidades máximas y mínimas en los canales dependen del caudal de escurrimiento, tipo de revestimiento y radio hidráulico. Así mismo, del peligro de erosión que puedan sufrir y la deposición de sedimentos que obstruyan la sección transversal de los mismos.

En la **Tabla 6.1** se presentan los valores referenciales de velocidades máximas permisibles en canales con revestimiento, para evitar la erosión de la solera y paredes laterales.

La velocidad mínima debe ser de 0,60 m/s, en lo posible se debe mantener un flujo subcrítico, es decir $F_r < 1$ (F_r = N° de Froude), sin embargo, las velocidades pueden ser menores si el ingeniero proyectista justifica técnicamente en función de la tensión tractiva mínima necesaria a partir del cual se genera la autolimpieza del canal.

6.4.6.2 Tuberías a presión

a) La velocidad máxima debe ser considerada en función del tipo de material de la tubería, de acuerdo a la **Tabla 6.2.**

Tabla 6.1. Velocidad máxima en canales revestidos (m/s)

Tipo de revestimiento	Características del material	Tirante de agua (m)	
		0,5	1,0
Revestimiento de hormigón (agua libre de arenas y piedras)	Hormigón H10 (1) Hormigón H15 (1) Hormigón H20 (1) Hormigón H30 (1)	12,50 14,00 15,60 19,20	13,80 15,60 17,30 21,20
Revestimiento de piedra (agua libre de arena y piedras)	Hormigón H5-H15 (1) Hormigón H25 (1) Hormigón H10 (1)	7,40 6,30 4,30	3,70 7,40 5,00
Gaviones 0.50 m y mayor	- - -	4,70	5,50
Piedras grandes	- - -	3,00	3,50
Capas de piedra o arcilla (10 a 15 cm)	- - -	2,40	2,80
Suelo apisonado con piedra	Piedra de 15 - 20 cm Piedra de 20 - 30 cm	2,60 3,00	3,00 3,60
Capa doble de piedra	Piedra de 15 - 20 cm Piedra de 20 - 30 cm	3,00 3,10	3,50 3,70

Fuente: H. Llanusa y C. Viamonte.
(1)Tipo de Hormigón de acuerdo al Código Boliviano del Hormigón (CBH 1987).

Tabla 6.2. Velocidad máxima permisible en tuberías (m/s)

Material	Velocidad máxima (m/s)
Tubería revestida de hormigón simple	3,00
Tubería de hormigón centrifugado	3,50
Tubería de asbesto cemento	5,00
Tubería de PVC	5,00
Tubería de hierro fundido	5,00
Tubería acero galvanizado	5,00
Tubería de acero	5,00

En tuberías de impulsión la velocidad no debe ser mayor a 2,00 m/s.

A objeto de mitigar los efectos por golpe de ariete, y en general cuando éste sea inminente, se recomienda que la velocidad máxima sea menor a 1,50 m/s.

b) La velocidad mínima en la tubería debe ser establecida en función de la velocidad de autolimpieza. La velocidad mínima recomendada es de 0,30 m/s.

6.4.7 Cálculo hidráulico

6.4.7.1 Canales

Para el cálculo de la pérdida de carga en canales o tuberías de flujo libre puede utilizarse las siguientes fórmulas:

a) Manning Strickler
b) Bazin
c) Kutter

6.4.7.2 Tuberías a presión

Para el cálculo hidráulico y la determinación de pérdidas de carga en tuberías a presión se pueden utilizar las siguientes fórmulas:

a) Flamant
b) Darcy Weisbach
c) Hazen Williams

En el cálculo hidráulico se utiliza el diámetro real. Sin embargo, para efectos del diseño se debe considerar el diámetro nominal de la tubería.

Asimismo, en el cálculo de tuberías deben considerarse las pérdidas localizadas o el efecto de mecanismos y singularidades (válvulas, codos, tees, reducciones, etc.) introducidas en la línea que producen pérdidas de carga adicionales.

Para el cálculo de dichas pérdidas de carga localizadas puede utilizarse el método de la longitud equivalente de tuberías, añadiéndola a la longitud real del tramo.

El proyectista puede dejar de considerar el cálculo de pérdidas localizadas si los sistemas son por gravedad.

6.4.8 Presiones máximas y mínimas

La presión estática máxima de la tubería de aducción no debe ser mayor al 80% de la presión de trabajo especificada por el fabricante, debiendo ser compatibles con las presiones de servicio de los accesorios y válvulas a utilizarse.

Para casos en los que se tiene altas presiones se debe efectuar un análisis comparativo técnico económico entre adoptar el uso de tuberías de alta presión o utilizar estaciones reductoras de presión y tuberías de menor presión. Para el último caso debe verificarse que la presión en el punto más alejado y elevado sea al menos la mínima especificada en la presente Norma.

La presión mínima recomendable en cualquier punto de la tubería de aducción, en las condiciones mas desfavorables de escurrimiento, debe ser de 2 m.c.a., excepto en los puntos inicial y final de la aducción ligados a un tanque o cámara en contacto con la atmósfera.

6.4.9 Diámetro mínimo

a) Para canales cerrados de sección circular a superficie libre, el diámetro mínimo debe ser de 100 mm.

b) Para tuberías a presión la selección del diámetro de la tubería de aducción debe considerar:

- Presión disponible.
- Velocidad de escurrimiento.
- Longitud de la línea de aducción.

La elección del diámetro debe basarse en un estudio comparativo técnico económico.

6.5 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS DE DISEÑO

6.5.1 Profundidad de instalación

La profundidad mínima para el tendido de la tubería de aducción debe ser mayor o igual a 0,60 m sobre la clave de la misma.

En áreas de cultivo, cruce de caminos, líneas de ferrocarril o aeropuertos, la profundidad mínima debe ser de 1,00 m sobre la clave de la tubería. El proyectista debe justificar el uso de valores menores al indicado si éstos cuentan con un sistema de protección.

En el caso de suelos rocosos e inestables, el proyectista debe tomar medidas de protección necesarias como revestimientos de hormigón simple y anclajes.

En zonas con pendiente fuerte se deben adoptar tendidos superficiales siempre y cuando se tenga en cuenta apoyos y anclajes antideslizables.

En el caso de tuberías de PVC y PEAD deben necesariamente estar enterradas.

6.5.2 Ubicación de válvulas

En los puntos altos y bajos de la tubería de aducción a presión deben instalarse válvulas de purga de aire y limpieza respectivamente, las cuales deben estar protegidas con una cámara de inspección y dotadas de un sistema de drenaje.

Cuando haya un tanque de almacenamiento instalado en una cota más baja que los probables sitios de bolsones de aire y que éstos se encuentren por lo menos 10 m por debajo del nivel dinámico, se puede evitar la instalación de la válvula de purga de aire.

Dependiendo del costo y en caso de no disponer de válvulas de purga de aire, se podrá considerar la instalación de otras válvulas como las de control.

La instalación de válvulas de limpieza debe ser realizada a través de una tubería que tenga, en principio, el mismo diámetro de la aducción, pudiendo luego ser disminuido a través de una reducción excéntrica, de manera que se permita la total evacuación hasta un punto de descarga alejado del trazado.

El diámetro de la tubería de desagüe debe estar entre D/4 a D/3 (D = diámetro de la tubería principal), con un mínimo de 75 mm para tuberías mayores a 100 mm. Para diámetros menores a 100 mm se debe adoptar el mismo diámetro de la tubería principal.

6.5.3 Estaciones reductoras de presión

Con el objetivo de reducir la altura de presión hasta un valor menor y establecer un nuevo nivel estático, debe emplearse una estación reductora de presión.

Una estación reductora de presión debe emplearse también cuando la calidad de las tuberías, válvulas y accesorios de la tubería de aducción no permite soportar altas presiones, así como para mantener las presiones máximas de servicio en una red de distribución dentro de los límites permisibles de presión.

Las estaciones reductoras de presión deben estar basadas en el uso de válvulas reductoras de presión o en el uso de cámaras rompe presión que permitan igualar la presión atmosférica correspondiente.

6.5.4 Anclajes

Las tuberías de aducción deben contar con anclajes de seguridad cuando:

a) Están expuestas a la intemperie y requieren estar apoyadas en soportes o adosadas a formaciones naturales de roca.

b) Se presentan cambios de dirección horizontales o verticales en tramos enterrados o expuestos.

Los anclajes deben ser metálicos o de hormigón armado, simple o ciclópeo. Asimismo, deben contar con el cálculo estructural y análisis de costos.

Para el cálculo se debe tomar en cuenta el efecto equilibrante del terreno siempre y cuando se tenga certeza de su permanencia. Para efectos de estabilidad el empuje pasivo del terreno adyacente debe considerarse hasta un valor máximo de 1,00 kgf/cm^2.

6.5.5 Estructuras especiales

Cuando la tubería de aducción cruce carreteras, vías férreas, ríos, arroyos u otro tipo de obstáculos se deben proyectar estructuras especiales como puentes, pasos colgantes u otros, que garanticen la seguridad de la misma.

Las estructuras especiales podrán ser metálicas, de madera u hormigón armado simple o ciclópeo. Asimismo, deben contar con el cálculo estructural y análisis de costos respectivo.

CAPÍTULO 7 - ESTACIONES DE BOMBEO

7.1 DEFINICIÓN

Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, dispositivos, tuberías, accesorios, motores y bombas que permiten elevar el agua de un nivel inferior a otro superior.

7.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO

Las estaciones de bombeo pueden ser:

a) Fijas, cuando la bomba se localiza en un punto estable y no es cambiada de posición durante su período de vida útil.

b) Flotantes, cuando los elementos de bombeo se localizan sobre una plataforma flotante. Se emplea sobre cuerpos de agua que sufren cambios significativos de nivel.

c) Móviles, cuando las bombas son localizadas sobre soportes o plataformas que permiten su cambio de posición accionadas por elementos motrices.

7.3 ELEMENTOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

Una estación de bombeo puede estar constituida de los siguientes elementos, los mismos que podrán variar dependiendo de las condiciones particulares de cada proyecto:

- Caseta de bombeo.
- Cámara de bombeo.
- Tubería de succión.
- Bombas.
- Válvulas de regulación y control.
- Interruptores de máximo y mínimo nivel.
- Tableros de protección y control eléctrico.
- Equipo de montaje y mantenimiento.
- Equipo para comunicaciones.
- Sistema de ventilación.
- Instalaciones para personal de operación.
- Cerco de protección.

7.4 UBICACIÓN

En la selección del sitio para la estación de bombeo, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Fácil acceso en las etapas de construcción, operación y mantenimiento.
- Protección de la calidad del agua de fuentes de contaminación.
- Nivel de crecidas y/o áreas de inundación.
- Eficiencia hidráulica del sistema de impulsión o distribución.
- Peligro de interrupción del servicio por incendio, inundación u otros factores.
- Disponibilidad de energía eléctrica, de combustión u otro tipo.
- Topografía del terreno.
- Características de los suelos.

7.5 CAPACIDAD DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

Cuando el sistema de abastecimiento de agua incluye tanque de almacenamiento posterior a la estación de bombeo la capacidad de la tubería de succión (si corresponde), equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo.

$$Q_b = Q_{max.d} * \frac{24}{N}$$

Donde:
- Q_b Caudal de bombeo en l/s.
- $Q_{max.d}$ Caudal máximo diario en l/s.
- N Número de horas de bombeo.

Cuando el sistema de abastecimiento de agua no incluye tanque de almacenamiento posterior a la estación de bombeo la capacidad de la tubería de impulsión y equipo de bombeo debe ser calculada con base al caudal máximo horario y las pérdidas en la red de distribución.

7.6 CRITERIOS DE DISEÑO

7.6.1 Carga neta positiva de succión (CNPS)

La CNPS disponible y requerida son los parámetros de control de la cavitación.

La cavitación se presenta cuando la presión en la succión está cercana a la presión de vapor del fluido y se caracteriza por la formación de espacios vacíos en puntos donde la presión desciende por debajo de la tensión de vapor del líquido bombeado y son llenados por la vaporización del mismo. Las burbujas de vapor así formadas son arrastradas por la corriente hacia zonas de mayor presión, donde al destruirse por condensación violenta, produce una marcha inestable de la bomba, con caída de caudal y de rendimiento, acompañado de ruidos y vibraciones. La súbita interrupción del líquido en los vacíos dejados por las burbujas de vapor al desaparecer en las zonas de mayor presión de la bomba, provoca un impacto (implosión) que origina la destrucción rápida de los materiales, arrancando partículas del mismo y produciendo el efecto de erosión.

La CNPS disponible es función del diseño del bombeo y representa la diferencia entre la altura absoluta y la presión de vapor del líquido y se representa por:

$$CNPS_{disponible} = H_{atm} - (H_{vap} + H_s + \Delta H_s)$$

Donde:
- $CNPS_{disponible}$ Carga neta positiva de succión disponible.
- H_{atm} Presión atmosférica en m.
- H_{vap} Presión de vapor en m.
- H_s Altura estática de succión en m.
- ΔH_s Pérdida de carga por fricción de accesorios y tubería en m

La CNPS requerida es función del diseño de la bomba y viene dada por el fabricante. Es la carga exigida por la bomba para aspirar el fluido, representa la mínima diferencia requerida entre la presión de succión y la presión de vapor a una capacidad dada, sin que se corran riesgos de cavitación.

Para evitar el riesgo de cavitación por presión de succión, se debe cumplir que:

$$CNPS_{\text{disponible}} > CNPS_{\text{requerida}}$$

Otra de las causas de cavitación en bombas son las excesivas revoluciones del rotor. En este caso se debe verificar que la velocidad específica de operación no sobrepase la máxima dada por el fabricante.

7.6.2 Sumergencia mínima

Cuando se emplean bombas centrífugas de eje horizontal se debe verificar la sumergencia, esto es el desnivel entre el nivel mínimo de agua en el cárcamo y la parte superior del colador o criba.

Se debe considerar el mayor valor que resulte de las siguientes alternativas:

a) Para impedir el ingreso de aire:

$$S = 2{,}5 * D + 0{,}10$$

b) Condición hidráulica:

$$S > 2{,}5 * \left(\frac{v^2}{2 * g}\right) + 0{,}20$$

Donde:
- S Sumergencia mínima en m.
- D Diámetro en la tubería de succión en m.
- v Velocidad del agua en m/s.
- g Aceleración de la gravedad en m/s^2.

7.7 DISEÑO DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO

Para el diseño de estaciones de bombeo se deben tomar en cuenta:

a) Altura manométrica total o altura total de bombeo

- Bombeo con bombas no sumergibles:

$$H_b = h_s + h_i + \Delta h_s + \Delta h_i$$

- Bombeo con bombas sumergibles:

$$H_b = h_i + \Delta h_i$$

Donde:
- H_b Altura total de bombeo en m.
- h_s Altura geométrica de succión en m.
- h_i Altura geométrica de impulsión en m.
- Δh_s Altura de pérdida de carga en la tubería de succión en m.
- Δh_i Altura de pérdida de carga en la tubería de impulsión en m.

b) Potencia del equipo de bombeo

$$P_b = \frac{Q_b * H_b}{75 * \eta}$$

Donde:
- P_b Potencia en CV (practicamente HP). 1 CV = 0,986 HP.
- γ Peso específico del agua en Kg/m^3
- Q_b Caudal de bombeo en m^3/s.
- H_b Altura manométrica total en m.
- η Eficiencia del sistema de bombeo. $\eta = \eta_{motor} * \eta_{bomba}$

7.7.1 Selección de la bomba de agua

En la selección de las bombas se deben considerar los siguientes factores:

7.7.1.1 Condiciones generales

a) Características del proyecto

- Caudal de bombeo (diseño).
- Altura manométrica.
- Calidad del agua.
- Tipo de energía (eléctrica, eólica, fotovoltaica, etc.).
- Disponibilidad y tipo de combustible cuando se requiere de generador propio.
- Disponibilidad de bombas en el mercado.
- Etapas del proyecto.
- Operación en serie o en paralelo.
- Número de unidades.
- Eje horizontal o vertical.
- Normalización de equipos con los de otras estaciones elevadoras existentes.
- Economía y facilidad de operación y mantenimiento, tomando en cuenta también las unidades en la montante y aguas abajo.

b) Características de la bomba

- Potencia.
- Voltaje y amperaje necesarios.
- Curvas características de comportamiento de la bomba (altura dinámica versus caudal, eficiencia versus caudal y potencia versus caudal).
- La CNPS requerida por las bombas de modo que en todos los puntos de operación, la CNPS disponible, supere el requerido en un mínimo de 0,30 m.
- Calidad del agua referida al pH, corrosión y abrasión (los impulsores y cuerpo de la bomba deberán resistir la calidad del agua a ser bombeada).
- Tipo y material de los impulsores.
- Dimensiones.
- Los puntos de operación de las bombas en las diversas situaciones posibles deben estar situados en la faja de operación adecuada para aquella bomba específica.
- Número de conjuntos de reserva compatible con las condiciones operacionales, con previsión de como mínimo un conjunto.

7.7.1.2 Tipo de bomba

En la Tabla 7.1 se presentan las posibles alternativas de empleo de bombas respecto al tipo de fuente.

Tabla 7.1. Tipos de bombas eléctricas recomendadas por tipo de fuente

Tipo de fuente	Tipo de bomba recomendado
Pozo profundo	Bomba centrífuga vertical, sumergible (cilíndrica, angosta) Bomba axial vertical sumergible (cilíndrica, angosta) Bomba neumática o jet
Pozo excavado y cámara de bombeo	Bomba centrífuga vertical sumergible Bomba axial vertical sumergible Si h_s < 4 m (h_s = altura de succión) Bomba centrífuga horizontal, no sumergible Bomba centrífuga vertical, no sumergible
Cuerpo de agua superficial	Bomba centrífuga vertical, sumergible (cuerpo chato) Bomba centrífuga horizontal (sobre plataforma flotante o móvil) Bomba axial horizontal (sobre plataforma flotante o móvil)

Para la selección definitiva deben considerarse las condiciones locales de instalación de la bomba.

7.7.1.3 Características electromecánicas de las bombas

a) Materiales de construcción de las bombas

Los materiales de las bombas se seleccionarán en función de las propiedades del agua con la cual tendrán contacto.

Las características del agua a tomar en cuenta son:

- Temperaturas (máximas y mínimas).
- Presión máxima.
- Conductividad.
- Corrosión.
- Condiciones de cavitación (CNPS).
- Característica del material en suspensión que provoca la abrasión.

Los materiales comúnmente empleados en la fabricación de las bombas son el hierro, bronce y acero.

b) Características eléctricas de los motores de las bombas

Los motores eléctricos de las bombas funcionan con diferentes tensiones, corrientes y número de fases; estos factores determinan la potencia efectiva de la bomba.

Los datos eléctricos deben ser proporcionados por el fabricante o proveedor.

c) Máquinas de potencia

En caso de no existir energía eléctrica y dependiendo de las condiciones locales y los costos de operación y mantenimiento se deben considerar:

- Generadores a gasolina.
- Generadores a diesel (motores a diesel).
- Generadores a gas (turbinas).
- Generadores en base a paneles solares.
- Turbinas eólicas.

Deben preferirse en general los motores eléctricos (CA) por su mejor rendimiento y costos bajos de operación y mantenimiento.

7.7.1.4 Instalación de las bombas

Las bombas centrífugas pueden instalarse en pozo húmedo o pozo seco, en posición horizontal o vertical.

Las bombas de eje horizontal son instaladas con el grupo motor-bomba en pozo o ambiente seco, debiendo reducirse en lo posible la altura de succión.

En los pozos perforados, pueden emplearse las bombas tipo turbina (conjunto motor-bomba separado), o las de tipo sumergibles (conjunto motor-bomba compacto).

En los casos de captaciones de corrientes superficiales con grandes variaciones de nivel, se recomienda la instalación de tomas flotantes con bombas sumergibles del tipo compacto motor-bomba.

7.7.2 Número de bombas a instalar

El número de unidades de bombeo a instalar debe proveerse de la siguiente manera:

a) Para poblaciones menores a 2 000 habitantes, puede utilizarse una sola unidad con una capacidad de bombeo suficiente para cubrir el 100% de la capacidad requerida más una de reserva de la misma capacidad que funcione alternadamente.

b) Para poblaciones de 2 000 a 5 000 habitantes debe utilizarse, previo análisis técnico-económico, una de las siguientes alternativas:

- Una sola unidad con capacidad de bombeo mayor al 100% más una de reserva de la misma capacidad que funcione alternadamente o,

- Dos unidades con capacidad de bombeo mayor o igual al 50% cada una más una de reserva de la misma capacidad que funcione alternadamente.

c) Para poblaciones de 5 000 a 20 000 habitantes se usarán dos equipos, cada uno con una capacidad de bombeo mayor o igual al 50% del total, mas uno de reserva de la misma capacidad que funcione alternadamente. Cuando la fuente de energía para los equipos de bombeo sea eléctrica, se debe disponer además de un grupo electrógeno con capacidad para el 50% de los equipos de bombeo.

d) Para poblaciones de más de 20 000 habitantes se debe contar con un mínimo de tres unidades de bombeo, cada uno con capacidad de bombeo mayor o igual al 50% del total, más uno de reserva de la misma capacidad que funcione alternadamente. Cuando la fuente de energía para los equipos de bombeo sea eléctrica, se debe disponer además de un grupo electrógeno con capacidad para el 50% de los equipos de bombeo.

7.7.3 Cámara de bombeo

Debe utilizarse cuando la instalación impulsora se encuentra en un sitio distinto a un pozo perforado o excavado.

En el diseño de la cámara de bombeo deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Consideraciones generales

El caudal de bombeo se debe determinar según lo indicado en 7.5.

La entrada de agua a la cámara debe ser diseñada de modo que se eviten turbulencias.

En general deben evitarse los siguientes aspectos geométricos que pueden conducir a un mal diseño:

- Cambios bruscos en la dirección del flujo.
- Pozos rápidamente divergentes.
- Pendientes pronunciadas.
- Distribución asimétrica de flujo en el pozo.
- Entrada de agua al pozo por debajo del nivel de la tubería de succión.

Deben proveerse dispositivos de desagüe, rebose y limpieza del pozo.

En función de la calidad del agua y a fin de no dañar el funcionamiento de las bombas deben preverse, rejillas de protección y/o tanques desarenadores o de sedimentación, a ser dispuestos en forma previa a la propia estación.

b) Tipo de cámara de bombeo

Se debe emplear una cámara de bombeo con almacenamiento cuando el rendimiento de la fuente no sea suficiente para suministrar el caudal de bombeo.

Se debe emplear una cámara de bombeo sin almacenamiento cuando la fuente de provisión de agua tenga una capacidad mayor o igual al caudal de bombeo.

c) Dimensionamiento de la cámara de bombeo

El dimensionamiento de la cámara de bombeo con almacenamiento debe ser realizado utlizando el diagrama de masas (caudal mínimo de la fuente de agua y caudal de bombeo) o considerando los períodos de no bombeo (cuadal máximo diario y tiempo más largo de descanso de las bombas).

Para el dimensionamiento de la cámara de bombeo sin almacenamiento deben considerarse los siguientes criterios:

- La sumergencia mínima será fijada mayor a 1,5 veces el diámetro (d) de la tubería de succión y no debe ser inferior a 0,50 m, véase también 7.6.2.

- La holgura comprendida entre el fondo del pozo y la sección de entrada de la canalización de succión será fijada en un valor comprendido entre 0,5∗d y 1.5∗d.

- En los pozos con deflectores la distancia entre el eje de la tubería y las paredes adyacentes será fijada como mínimo en 1,5*d.

- En los pozos sin deflectores, la distancia entre el eje de la canalización y las paredes adyacentes laterales será como mínimo de 1,5*d y la distancia entre el eje de la canalización y la pared de fondo será del orden de 1,1*d a 1,2*d.

7.7.4 Caseta de bombeo

El dimensionamiento de la caseta de bombeo debe ser adecuado para albergar el total de los equipos necesarios para la elevación del agua. Cuando fuese necesario, la caseta albergará los dispositivos de maniobra y desinfección.

Debe permitir facilidad de movimientos, mantenimiento, montaje, desmontaje, entrada y salida de los equipos.

El dimensionamiento de la caseta dependerá del tipo y tamaño de las bombas y energía a utilizarse en las mismas.

7.8 TUBERÍAS Y ACCESORIOS DE SUCCIÓN

En el diseño y cálculo de tuberías de succión deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

a) La CNPS disponible debe ser como mínimo 0,30 m mayor a la CNPS requerida, para evitar el fenómeno de cavitación.

b) El área libre de los orificios de la criba debe ser 2 a 4 veces la sección de la tubería de succión.

c) Cuando el diámetro de la tubería de succión es mayor que el de admisión de la bomba, la conexión debe realizarse por medio de una reducción excéntrica con su parte superior horizontal a fin e evitar la formación de bolsas de aire.

d) En tuberías de succión verticales, las reducciones serán concéntricas.

e) La velocidad mínima de flujo en la tubería de succión debe estar entre 0,30 a 0,45 m/s.

f) La velocidad máxima de flujo en la tubería de succión debe estar entre 0,75 a 1,80 m/s.

g) El diámetro de la tubería de succión debe ser mayor que el diámetro de la tubería de impulsión por lo menos en un diámetro nominal.

h) En una tubería de succión con presión positiva debe instalarse una válvula de compuerta.

i) En una tubería de succión que no trabaje con presión positiva debe instalarse una válvula de retención en su extremo inferior para evitar el descebado.

7.9 TUBERÍAS Y ACCESORIOS DE IMPULSIÓN

En el diseño y cálculo de tuberías de impulsión deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

a) Dotar al sistema de los dispositivos que eviten los riesgos debido al fenómeno del golpe de ariete.

b) A la salida de la bomba debe proyectarse una válvula de retención y una de compuerta. Asimismo, debe considerarse la instalación de uniones flexibles para mitigar los efectos de vibración.

c) La selección del diámetro de la tubería de impulsión debe basarse en un estudio comparativo técnico económico entre diferentes alternativas.

d) En todo cambio de dirección debe considerarse elementos de anclaje y sujeción.

7.10 FUENTE DE ENERGÍA

En la elaboración del proyecto, en cuanto a suministro de energía se refiere, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Estudiar cuidadosamente las alternativas para determinar la fuente de energía más económica y eficiente para el funcionamiento de las bombas.

b) Que sea posible suministrar suficiente energía para operar las bombas a su máxima capacidad en caso de emergencia.

c) Cuando la necesidad técnico – económica lo justifique, se proveerá una fuente de energía de emergencia (grupo electrógeno).

Debe(n) ser previsto(s) generador(es) de emergencia y ser dimensionado(s) de acuerdo con las necesidades, para accionar sistemas auxiliares que aseguren un trabajo ininterrumpido.

7.11 SISTEMAS DE OPERACIÓN, MEDICIÓN Y CONTROL

Se debe incluir un sistema de medición de caudal. En poblaciones menores a 2 000 habitantes, el proyectista debe justificar técnica y económicamente su implementación.

Los dispositivos de operación, control y alarma deben proporcionar, cuando se justifique, no sólo la indicación visual y sonora de la condición potencial de peligro, sino también, en situación más crítica, la interrupción del funcionamiento del sistema.

7.12 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MOVIMIENTO Y SERVICIO

En la selección de los equipos de movilización debe considerarse que:

a) Su capacidad de carga debe atender al elemento de mayor peso que pueda ser transportado aisladamente.

b) El uso de esos equipamientos debe ser estudiado y debe ser tal que permita el retiro adecuado, movilización o reposición de las piezas constituyentes de la estación elevadora.

Para la instalación de equipos de movilización y servicio se hará una previsión adecuada de:

a) Vigas, para la instalación de puentes rodantes, monovías, apoyos para polea, o manutención o remoción de bombas, motores o cualquier otra pieza de equipamiento pesado, o ya sea dejar paso libre para los pórticos cuando fuera el caso.

b) Aberturas en el piso, o en otros lugares que permitan libre movimiento del mayor elemento instalado.

7.13 PROYECTOS COMPLEMENTARIOS

En estaciones de bombeo para poblaciones mayores a 2 000 habitantes se deben considerar los siguientes aspectos complementarios. Sin embargo el proyectista puede desestimar la necesidad de alguno(s) de ellos si lo justifica técnicamente.

- Iluminación.
- Ventilación y acústica.
- Instalaciones hidráulicas sanitarias.
- Sistema de aguas de servicio.
- Sistema de combate de incendios.
- Acceso y escaleras.
- Protección contra rayos (pararayos).

CAPÍTULO 8 - TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

8.1 DEFINICIÓN

Los tanques de almacenamiento son estructuras civiles destinadas al almacenamiento de agua. Tienen como función mantener un volumen adicional como reserva y garantizar las presiones de servicio en la red de distribución para satisfacer la demanda de agua.

8.2 GENERALIDADES

Los tanques de almacenamiento deben cumplir los siguientes propósitos fundamentales:

- Suministrar agua potable a la red en la cantidad y calidad necesarias.
- Almacenar suficiente agua para atender situaciones de emergencia tales como incendios en cualquier punto del sistema, interrupciones por daños de tuberías de aducción o de estaciones de bombeo.
- Compensar las variaciones de los consumos que se producen durante el día.
- Mantener presiones de servicio adecuadas en la red de distribución.

8.3 TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

8.3.1 Considerando la ubicación sobre el terreno

a) Tanques superficiales

Se asientan directamente sobre el terreno, pueden ser superficiales o semienterrados dependiendo de las condiciones del terreno y su forma constructiva.

Deben ser utilizados cuando la topografía del terreno permita una ubicación tal que garantice la presión mínima en todos los puntos de la red de distribución.

Los tanques superficiales pueden construirse en hormigón armado, hormigón simple, hormigón ciclópeo, ferrocemento, mampostería y otros.

b) Tanque elevados

Se encuentran por encima del nivel del terreno natural y soportado por una estructura.

La altura a la cual se encuentra el tanque elevado debe ser tal que garantice la presión mínima en el punto más desfavorable de la red de distribución, de acuerdo a lo establecido en el Capítulo 9 de la presente Norma.

Los tanques elevados pueden construirse de acero, hormigón armado, pretensado, postensado, ferrocemento, fibra de vidrio y otros.

8.3.2 Considerando el tipo de alimentación

a) Tanques de cabecera (regulación)

Se alimentan directamente de la fuente o planta de tratamiento mediante gravedad o bombeo.

b) Tanques de compensación (cola)

Se ubican en la parte más alejada de la red de distribución con relación a la obra de captación o planta de tratamiento, se alimentan por gravedad o por bombeo. Almacenan agua en las horas de menor consumo y auxilian al abastecimiento de la red de distribución en las horas de mayor consumo.

8.4 INFORMACIÓN NECESARIA

La elaboración del proyecto de tanques de almacenamiento requiere disponer de la siguiente información:

- La concepción básica del sistema de abastecimiento de agua.
- La reserva total necesaria para cada zona de presión.
- Localización en la planimetría.
- Número de unidades y definición de las etapas de ejecución.
- Cota de los niveles de agua.
- Estudio de suelos del área de emplazamiento.

8.5 CAPACIDAD DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

La capacidad del tanque de almacenamiento debe ser igual al volumen que resulte mayor de las siguientes consideraciones:

a) Volumen de regulación
b) Volumen contra incendios
c) Volumen de reserva

El ingeniero proyectista deberá justificar las consideraciones realizadas para el cálculo del volumen total.

8.5.1 Volumen de regulación

El volumen de regulación debe ser suficiente para compensar las variaciones de caudal que se presentan entre el caudal de alimentación y el caudal de consumo en cada instante.

El volumen necesario de regulación debe ser determinado por métodos analíticos o grafícos en base a las curvas de demandas propias de cada población o zona abastecida y a las curvas de suministro de agua.

El cálculo del volumen puede ser realizado de dos formas:

a) Curvas de consumo

En la que se toma en cuenta la curva de variaciones horarias de la demanda en el día de máximo consumo, la curva de consumos acumulados y el tipo de sistema (gravedad, bombeo).

A falta de información se puede considerar la curva de consumos de otra población de características similares.

b) Coeficientes empíricos

Para sistemas por gravedad, el volumen del tanque de regulación debe estar entre el 15% a 30% del consumo máximo diario.

Para sistemas por bombeo, el volumen del tanque de regulación debe estar entre el 15 a 25% del consumo máximo diario, dependiendo del número y duración de las horas de bombeo, así como de los horarios en los que se realicen dichos bombeos.

Para cualquiera de los casos el volumen debe ser determinado utilizando la siguiente expresión:

$$V_r = C * Q_{máx.d} * t$$

Donde:
- V_r Volumen de regulación en m^3.
- C Coeficiente de regulación.
  - Sistemas a gravedad 0,15 a 0,30.
  - Sistemas por bombeo 0,15 a 0,25.
- $Q_{máx.d}$ Caudal máximo diario en m^3/d.
- t Tiempo en días.
  - t = 1 día como mínimo.

El proyectista podrá utilizar tiempos mayores a un día, si los justifica técnicamente.

8.5.2 Volumen contra incendios

Este volumen está destinado a garantizar un abastecimiento de emergencia para combatir incendios.

El volumen destinado para combatir incendios, debe ser establecido de acuerdo con la entidad que tiene a su cargo la mitigación de incendios, atendiendo las condiciones de capacidad económica, las condiciones disponibles de protección contra incendios y las necesidades de esa protección.

El volumen contra incendios debe ser determinado en función de la importancia, densidad de la zona a servir y tiempo de duración del incendio.

Se debe considerar los siguientes casos:

a) Para zonas con densidades poblacionales menores a 100 hab/ha, considerar un caudal contra incendios (Q_i) en la red de distribución de 10 l/s.

b) Para zonas con densidades poblacionales comprendidas entre 100 hab/ha a 300 hab/ha, cosiderar un caudal contra incendios (Q_i) en la red de distribución de 16 l/s.

c) Para zonas con densidades poblacionales mayores a 300 hab/ha, cosiderar un caudal contra incendios (Q_i) en la red de distribución de 32 l/s.

El volumen de almacenamiento para atender la demanda contra incendio debe calcularse para un tiempo de duración del incendio entre 2 horas y 4 horas, a través de la siguiente expresión:

$$V_i = 3{,}6 * Q_i * t$$

Donde: V_i Volumen para lucha contra incendios en m^3.
Q_i Caudal contra incendio en l/s.
t Tiempo de duración del incendio en horas.

8.5.3 Volumen de reserva

Este volumen, prevé el abastecimiento de agua durante las interrupciones accidentales de funcionamiento de los componentes del sistema situados antes del tanque de almacenamiento, o durante períodos de reparaciones y mantenimiento de obras de captación, conducción, tratamiento y/o en casos de falla en el sistema de bombeo.

Como aguas arriba del tanque hay una serie de obras más o menos expuestas a interrupción, es evidente que durante ese lapso debe disponerse de una reserva de agua en los tanques de almacenamiento; para ello se recomienda considerar un volumen equivalente a 4 horas de consumo correspondiente al caudal máximo diario.

$$V_{re} = 3{,}6 * Q_{máx.} * t$$

Donde: V_{re} Volumen de reserva en m^3.
$Q_{máx.d}$ Caudal máximo diario en l/s.
t Tiempo en horas.

8.5.4 Reducción de la capacidad del tanque

Podrán proyectarse tanques de almacenamiento con volúmenes diferentes a los consignados en los numerales anteriores, siempre que se den las razones técnico-económicas correspondientes que justifiquen los volúmenes adoptados.

8.6 COTAS O NIVELES DE INSTALACIÓN

La ubicación y nivel de los tanques de almacenamiento deben ser fijados de manera tal de garantizar que las presiones dinámicas mínimas en la red de distribución se hallen dentro de los límites aceptables de servicio.

Las presiones estáticas y dinámicas en la red deben estar referidas: la primera al nivel de agua máximo y la segunda al nivel de agua mínimo de los tanques de distribución.

Cuando una zona de emplazamiento para un tanque de almacenamiento no presente cota suficiente para garantizar las condiciones de presión necesarias para el funcionamiento de la red, la distribución debe ser realizada a partir de un tanque elevado.

8.7 REQUERIMIENTO DE DISEÑO

La implementación del tanque debe obedecer a los siguientes criterios:

a) Profundidad

El fondo del tanque de almacenamiento debe ubicarse por lo menos 0,50 m por encima del nivel de agua máximo del nivel freático o de la cota de inundación máxima.

b) Distancia a otros servicios

La distancia mínima entre un tanque de almacenamiento enterrado o semienterrado y una tubería de alcantarillado debe ser mayor a 30 m cuando el terreno fuera impermeable. Cuando el terreno fuera permeable, la distancia mínima será de 45 m.

c) Emplazamiento

En general, razones económicas llevan a fijar como criterios recomendables para la ubicación de los tanques los siguientes:

a) Proximidad de la fuente de abastecimiento o de la planta de tratamiento.
b) Dentro o en las cercanías de la zona de mayores consumos.
c) En las zonas altas de la localidad.

El o los tanques de almacenamiento deben localizarse lo más cerca posible de la red de distribución teniendo en cuenta la topografía del área de proyecto y el mantenimiento de presiones adecuadas en la misma.

El área para el emplazamiento del tanque no debe situarse en lugares que constituyan escurrimiento natural de aguas de lluvia.

d) Sistema de drenaje inferior

Por debajo del fondo del tanque de almacenamiento debe construirse un sistema de drenaje destinado a captar fugas a través de su fondo y de otras partes de su estructura no expuesta.

El sistema de drenaje debe ser subdividido de modo que cada subdivisión corresponda a un área máxima de 500 m^2 de fondo de tanque.

e) Número de unidades

El almacenamiento total correspondiente a cada zona de presión, debe ser subdividido en por lo menos dos unidades independientes, situadas próximas o adyacentes.

Cuando el volumen del tanque de almacenamiento sea superior a 50 m^3, se debe considerar en el diseño dos o más tanques de manera que se faciliten las tareas de operación y mantenimiento.

8.8 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

8.8.1 Generalidades

Los tanques de almacenamiento pueden ser construidos de los siguientes materiales: ferrocemento, hormigón armado, hormigón ciclópeo, mampostería de piedra o ladrillo, metálicos, fibra de vidrio y otros

8.8.2 Accesorios

a) Tubería de entrada

La entrada de agua en cada una de las unidades, cuando tienen salida independiente, debe ser dimensionada para un caudal máximo diario que alimenta al conjunto de tanques de almacenamiento, dividida por el número de unidades menos uno, tomando en cuenta que por razones de mantenimiento una de las unidades esté fuera de servicio.

La entrada de agua debe ser dotada de un sistema de cierre mediante válvula y será maniobrada mediante dispositivo situado en la parte externa del tanque.

La distancia entre la generatriz inferior de la tubería de ingreso y la generatriz superior de la tubería de rebose no debe ser inferior a 0,05 m.

b) Tubería de paso directo (by-pass)

En tanques de un solo compartimiento, debe colocarse un paso directo (by-pass) que permita mantener el servicio mientras se efectúa el lavado o la reparación del tanque, con la debida consideración de la sobre presión que pueda presentarse, en caso que el tanque trabaje como cámara rompe presión.

Se debe considerar el uso de by pass cuando el volumen del tanque de almacenamiento sea menor a 50 m^3. Para volúmenes menores el proyectista justificará la necesidad del by-pass.

La tubería de paso directo estará provista de una válvula compuerta.

c) Tubería de salida

La tubería de salida debe ser calculada de modo que la velocidad máxima a través de los elementos que la constituyen no sobrepase 1,5 veces la velocidad en la tubería que sigue a la misma y no debe sobrepasar una pérdida de carga de 0,50 m.

La tubería de salida de agua debe ser dotada de un sistema de cierre mediante una válvula compuerta, que debe ser maniobrada por medio de un dispositivo situado en la parte externa del tanque.

El diámetro de la tubería de salida será correspondiente al diámetro de la tubería de distribución o tubería de conducción.

La tubería de salida debe estar ubicada a una altura mínima de 1/3 a 1/2 del diámetro (D) de la misma, entre la parte inferior de la tubería o criba (colador) y el fondo del pozo, con un mínimo de 0,10 m.

La distancia horizontal entre el colador de salida y la pared más próxima del tanque debe ser como mínimo igual a D/2, con un mínimo de 0,10 m.

d) Tubería de rebose

La tubería de rebose debe ser dimensionada para posibilitar la descarga del caudal máximo diario que podrá alimentar al tanque.

Para el cálculo debe emplearse la fórmula general de orificios:

$$Q = C_d * A * \sqrt{2 * g * h}$$

Donde:
- Q Caudal máximo diario o caudal de bombeo en m^3/s.
- C_d Coeficiente de contracción. $C_d = 0.60$.
- A Área del orificio de desagüe en m^2.
- g Aceleración de la gravedad en m/s^2.
- h Carga hidráulica sobre la tubería de desagüe en m.

El diámetro de la tubería de rebose no debe ser inferior al diámetro de la tubería de ingreso.

La tubería de rebose se conectará con descarga libre a la tubería de limpieza, permitiendo la descarga en cualquier momento, para lo cual no se proveerá de válvula.

e) Tubería de limpieza

Todo tanque de almacenamiento debe estar provisto de una tubería de limpieza.

La limpieza del tanque será realizada a través de una tubería de descarga de fondo situada por debajo de su nivel mínimo.

Los tanques con capacidad mayor a 50 m^3 deben contar con una cámara de limpieza ubicada por debajo del nivel de piso y que permita drenar toda el agua del tanque. El volumen de dicha cámara no será considerado en el cálculo del volumen útil del tanque.

El fondo del tanque debe contar con una pendiente no menor al 1% hacia la tubería de limpieza.

Debe proveerse una tubería cuyo diámetro debe ser tal que facilite el vaciado del tanque en un período no mayor a 4 horas.

Para el cálculo del área del orificio de la tubería de limpieza debe utilizarse la fórmula siguiente:

$$A_0 = \frac{2 * S * \sqrt{h}}{C_d * T * \sqrt{2g}}$$

Donde:
- T Tiempo de vaciado en segundos.
- S Área superficial del tanque en m.
- h Carga hidráulica sobre la tubería en m^2.
- C_d Coeficiente de contracción. $C_d = 0,60$ a $0,65$
- A_0 Área del orificio de desagüe en m^2.
- g Aceleración de la gravedad en m/s^2.

La tubería de limpieza debe estar provista de válvula compuerta.

La tubería de limpieza no debe descargar en forma directa al alcantarillado sanitario, para lo cual deben tomarse las previsiones necesarias para evitar contaminaciones, preferentemente se debe descargar al alcantarillado pluvial.

f) Coladores

Las aberturas de salida de agua del tanque así como de la limpieza, deben ser protegidas con un colador o con una rejilla con abertura máxima igual a 5 cm y con un área abierta total 50% mayor que la abertura protegida.

8.8.3 Aspectos complementarios

a) Altura de revancha

El tanque de almacenamiento debe estar provisto de una altura de revancha o altura libre por encima del nivel máximo de aguas, a fin de contar con un espacio de aire ventilado. La altura de revancha no debe ser menor a 0,20 m.

b) Revestimiento interior

El fondo y las paredes del tanque, deben ser impermeables, independientemente de cualquier tratamiento especial, como pintura o revestimiento.

c) Protecciones

Todas las áreas que existieran al interior del tanque y situadas por debajo del nivel mínimo de agua, cuya profundidad fuera superior a 1,0 m, deben ser protegidas con una rejilla constituida de material a prueba de corrosión, con aberturas menores de 0,01 m^2.

d) Cubierta

La cubierta del tanque, será impermeable y continua, se considerará una cubierta continua a aquella constituida por elementos unidos por juntas flexibles empotrados en los elementos que conforman la cubierta.

Además de la impermeabilidad intrínseca de la cubierta, su superficie superior, debe ser revestida con capas de materia asfáltica o de otro material impermeabilizante que sea capaz de adherirse a la cubierta.

La cubierta debe tener una pendiente mínima del 2%.

e) Descargas de agua

Las descargas de agua provenientes de uno o más tanques deben ser conducidas hasta un curso receptor mediante un conducto dimensionado para un caudal por lo menos igual al máximo caudal conducido hasta los tanques.

f) Facilidades para mantenimiento

Los dispositivos para el cierre de las tuberías de entrada, salida y de limpieza, deben ser instalados de tal manera que puedan ser reparados aún cuando el tanque se encuentre lleno de agua, de modo que su remoción pueda ser hecha sin que sea necesario cortar o destruir parte de las instalaciones.

g) Previsiones contra rupturas

Cuando las tuberías de entrada, salida o limpieza fueran instaladas por debajo del fondo del tanque, deben ser previstos dispositivos para impedir la ruptura de las mismas y para no perjudicar la fundación del tanque.

h) Limitadores de nivel

En tanques elevados, debe disponerse de un dispositivo limitador del nivel máximo de agua, destinado a impedir la pérdida de agua a través del rebosadero.

i) Ventilación

Los tanques deben contar con dispositivos para ventilación, que permitan la entrada y salida de aire de su interior.

Los orificios o tuberías para ventilación deben ser protegidos con malla milimétrica para evitar la penetración de insectos y pequeños animales.

j) Acceso de inspección

Cada tanque debe contar por lo menos con una abertura para inspección ubicada en su cubierta, con una dimensión mínima igual a 0,60 m x 0,60 m o igual a la necesaria para posibilitar el paso de equipos o dispositivos previstos en su interior.

Los bordes de las aberturas para inspección deben situarse por lo menos 5 cm más alto de la superficie de cubierta del tanque.

k) Indicador de nivel

Los tanques deben ser dotados de un dispositivo indicador de la posición del nivel de agua.

No deben ser empleados dispositivos que sean capaces de dañar la calidad del agua.

l) Medidor de caudal

Se debe colocar un medidor registrador de caudal en la tubería de salida del tanque, que permita determinar los volúmenes suministrados en forma diaria, así como las variaciones de los caudales.

El medidor de caudal debe ser considerado para poblaciones superiores a 10 000 habitantes. Para poblaciones menores el proyectista debe justificar su uso.

m) Protección contra la luz natural

No será permitida la entrada de luz natural al interior del tanque de forma permanente a fin de evitar la formación de algas en el interior del mismo.

n) Cerco de protección

Los tanques de almacenamiento deben estar protegidos mediante un cerco o muro con una altura y resistencia necesarias, para evitar el acceso directo de personas no autorizadas o animales.

o) Escaleras de acceso

Los tanques elevados deben contar con escaleras de acceso provistas con jaula de protección. La escalera permitirá el acceso hasta la losa de cubierta del tanque.

La parte superior del tanque elevado debe contar con un barandado de protección.

p) Escaleras interiores

Se proveerán escaleras interiores en caso que la altura del tanque exceda de 1,2 m, con las protecciones necesarias.

Las escaleras en el interior de los tanques, deben tener las siguientes características:

- Serán verticales y formadas por dos largueros que sustenten los peldaños espaciados 0,30 m como máximo.

- Los largueros se apoyarán en el fondo y se sujetarán a la losa de cubierta junto a una abertura de inspección.

- Serán construidas de material resistente a la corrosión, como el aluminio u otros.

q) Señalización

En la parte superior del tanque elevado deben ser instaladas luces de señalización de obstáculo elevado, conforme a las reglas del Ministerio de Aeronáutica.

CAPÍTULO 9 - RED DE DISTRIBUCIÓN

9.1 DEFINICIÓN

La red de distribución es un conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten el suministro de agua a los consumidores de forma constante, con presión apropiada, en cantidad suficiente y calidad adecuada para satisfacer sus necesidades domésticas, comerciales, industriales y otros usos.

9.2 TIPOS DE REDES

9.2.1 Red abierta o ramificada

La red está constituida por tuberías que forman ramificaciones a partir de una línea principal.

La red abierta puede aplicarse en poblaciones semidispersas y dispersas o cuando por razones topográficas o de conformación de la población no es posible un sistema cerrado.

9.2.2 Red cerrada o anillada

La red está constituida por tuberías que forman circuitos cerrados o anillos.

La red cerrada puede aplicarse en poblaciones concentradas y semiconcentradas mediante redes totalmente interconectadas o redes parcialmente interconectadas.

La red puede estar compuesta por una red de tuberías principales y una red de tuberías secundarias.

9.2.3 Red mixta o combinada

De acuerdo a las características topográficas y distribución de la población, pueden aplicarse en forma combinada redes cerradas y redes abiertas.

9.3 FORMAS DE DISTRIBUCIÓN

9.3.1 Distribución por gravedad

La distribución por gravedad se aplica cuando la obra de captación y/o tanque de almacenamiento se encuentra en un nivel superior a la red de distribución y se garantice presión suficiente en toda la red.

9.3.2 Distribución por bombeo directo a la red

La distribución por bombeo puede aplicarse cuando la ubicación de la obra de captación o tanque de almacenamiento no garantiza presión suficiente en toda la red, por lo que es necesario utilizar dispositivos y equipos que impulsen el agua a través de la red.

Con la finalidad de proporcionar un servicio continuo, debe incluirse un sistema de suministro de energía de emergencia.

9.4 INFORMACIÓN NECESARIA

Para el diseño de redes de distribución de agua potable se requiere:

a) La concepción básica del sistema de abastecimiento de agua.
b) Trabajos topográficos de la localidad y sus áreas de expansión, que incluya:

- Perímetro urbano de la ciudad.
- Áreas de expansión previstas en el plan regulador.
- Áreas cuyo desarrollo es evidente y no están previstas en el plan regulador.
- Áreas en las que está prohibida la ejecución de obras de abastecimiento (parques urbanos, reservas forestales, etc.).
- Vías de ferrocarril y vehiculares existentes y proyectadas.
- Cursos de agua con sus obras de canalización previstas y proyectadas.
- Puentes, viaductos y otros pasos de cursos de agua, vías públicas y calles.

c) Urbanizaciones existentes, tipo de pavimentos existentes y futuros.
d) Relevamiento de las partes del sistema de distribución existente, debidamente localizados en planos topográficos.
e) Información de componentes de sistemas existentes y otros.

9.5 DISEÑO DE REDES

9.5.1 Caudal de diseño

La red de distribución debe calcularse para el caudal máximo horario o para el caudal máximo diario más la demanda contra incendios, utilizando para el diseño el mayor valor resultante.

El diseño de la red de tuberías principales debe considerar las distintas etapas del proyecto así como los caudales calculados para cada una de las mismas.

Para el cálculo de la red de distribución se debe considerar la zona actual y futura con sus densidades actuales y aquellas consideradas en los planes reguladores urbanos o establecidas por el proyectista sobre la base de información local.

9.5.1.1 Determinación de caudales en redes cerradas

En redes cerradas la determinación de caudales en los nudos de la red principal se realizará por uno de los siguientes métodos:

a) Método de área unitaria

El caudal por nudo debe determinarse utilizando el caudal unitario superficial y el área de influencia del nudo.

El caudal unitario superficial debe determinarse dividiendo el caudal máximo horario entre la superficie total del proyecto. Se aplica en poblaciones cuyas densidades poblacionales son uniformes.

b) Método de densidad poblacional

El caudal por nudo debe determinarse utilizando el caudal unitario poblacional y la población del área de influencia del nudo.

El caudal unitario poblacional debe determinarse dividiendo el caudal total entre la población total del proyecto. Se aplica en poblaciones cuyas densidades poblacionales no son uniformes.

c) Método de longitud unitaria

El caudal por nudo debe determinarse utilizando el caudal unitario y la longitud del tramo correspondiente.

El caudal unitario debe determinarse dividiendo el caudal máximo horario entre la longitud total de la red principal. Se aplica en poblaciones cuyas densidades poblacionales son uniformes.

d) Método de la repartición media

El caudal por nudo debe determinarse utilizando los caudales de los tramos adyacentes.

El caudal de tramos adyacentes debe determinarse con el caudal por tramo, repartiéndolos en partes iguales a los nudos de sus extremos.

El caudal en cada tramo debe determinarse por el método de la longitud unitaria. Se aplica en poblaciones cuyas densidades poblacionales son uniformes.

e) Método del número de familias

El caudal por nudo debe determinarse utilizando el caudal unitario y el número de familias del área de influencia del nudo.

El caudal unitario debe determinarse utilizando el caudal máximo horario y el número total de familias. Se aplica en poblaciones cuyas densidades poblacionales no son uniformes.

9.5.1.2 Determinación de caudales en redes abiertas

Para la determinación de caudales en redes abiertas debe considerarse el número de conexiones:

a) Para redes con más de 30 conexiones debe aplicarse uno de los métodos para redes cerradas.

b) Para redes con menos de 30 conexiones debe determinarse el caudal por ramal, utilizando el método probabilístico o de simultaneidad, basado en el coeficiente de simultaneidad y el número de grifos.

9.5.1.3 Determinación de caudal en piletas públicas

El caudal máximo por pileta pública debe ser determinado utilizando la población a servir por pileta, la dotación promedio por habitante, el porcentaje de pérdidas, eficiencia del sistema y el factor de uso del servicio.

En ningún caso, el caudal por pileta pública y conexión domiciliaria debe ser menor a 0,10 l/s.

9.5.2 Área del proyecto

El área del proyecto debe comprender la población de proyecto y las áreas industriales y comerciales, presentes y resultantes de la expansión futura.

A falta de un plan regulador las áreas de expansión deben ser aquellas que presenten un desarrollo relacionado con factores que estimulen el crecimiento de la región.

El área de proyecto debe ser definida mediante la interrelación de caminos, calles, ríos y otros accidentes geográficos y demarcada en planos cuya escala permita mostrar los accidentes geográficos utilizados para la demarcación.

9.5.3 Delimitación de zonas de presión

La red debe ser subdividida en tantas zonas de presión como fueran necesarias para atender las características topográficas y las condiciones de presión especificadas en la presente Norma.

Las presiones estáticas y dinámicas deben estar referidas al nivel de agua máximo y al nivel de agua mínimo del tanque de almacenamiento, respectivamente.

Las presiones en la red de distribución deben estar condicionadas por la ubicación del tanque de almacenamiento.

Áreas ubicadas en zonas altas que requieran mayores presiones deben tener sistemas separados de presión manteniéndose las presiones por medio de bombeo y tanques elevados.

9.5.4 Trazado de la red

Preferentemente deben proyectarse redes cerradas cuando las posibilidades técnicas y economicas lo permitan. La forma y longitud de las mismas debe ceñirse a las características topográficas de la localidad, densidad poblacional y ubicación del tanque de almacenamiento. Se debe contemplar el desarrollo de la localidad para prever las futuras ampliaciones.

La red abierta solo debe aplicarse en poblaciones dispersas y/o nucleadas que presentan desarrollo a lo largo de las vías de acceso a la población, donde los tramos de tuberías para cerrar circuitos resulten muy largos o de escasa utilización.

La red mixta debe ser aplicada en poblaciones nucleadas y que además presentan un desarrollo a lo largo de las vías de acceso.

9.5.5 Presiones de servicio

Durante el período de la demanda máxima horaria, la presión dinámica mínima en cualquier punto de la red no debe ser menor a:

a) Poblaciones iguales o menores a 2 000 habitantes 5,00 m.c.a.
b) Poblaciones entre 2 001 y 10 000 habitantes 10,00 m.c.a.
c) Poblaciones mayores a 10 000 habitantes 13,00 m.c.a.

Las presiones arriba mencionadas podrán incrementarse observando disposiciones municipales o locales de políticas de desarrollo urbano y según las caraterísticas técnicas del sistema de distribución.

En el caso de sistemas con tanques de almacenamiento, las presiones deben estar referidas al nivel de agua considerando el nivel de agua mínimo del tanque de almacenamiento.

Las zonas ubicadas en terrenos altos que requieran mayores presiones deben contar con sistemas separados de presión por medio de bombas y/o tanques elevados.

La presión estática máxima en la red no debe ser superior a los 70 m.c.a. La presión debe estar referida al nivel máximo de agua.

Cuando la presión sobrepase los límites establecidos máximos se debe dividir la red en zonas que trabajen con diferentes líneas piezométricas, mediante válvulas reguladoras de presión, cámaras rompe presión y/o la instalación de tanques paralelos.

9.5.6 Velocidades

La velocidad mínima en la red principal de distribución en ningún caso debe ser menor a 0,30 m/s para garantizar su autolimpieza.

Para poblaciones pequeñas, se aceptarán velocidades menores, solamente en ramales secundarios.

La velocidad máxima en la red de distribución no debe ser mayor a 2,00 m/s

9.5.7 Diámetros mínimos

Los diámetros mínimos de las tuberías principales para redes cerradas deben ser:

- En poblaciones menores a 2 000 habitantes 1”
- En poblaciones de 2 001 a 20 000 habitantes 1 1/2”
- En poblaciones mayores a 20 000 habitantes 2”

En redes abiertas, el diámetro mínimo de la tubería principal debe ser de 1”, aceptándose, en poblaciones menores a 2 000 habitantes, un diámetro de 3/4” para ramales.

9.5.8 Análisis hidráulico

El diseño hidráulico de las redes, puede ser realizado por una de las siguientes fórmulas: Flamant, Darcy Weisbach, Hazen Williams u otros justificados técnicamente.

a) Diseño hidráulico en redes abiertas

En el dimensionamiento de las tuberías de redes abiertas deben considerarse los siguientes aspectos:

- La distribución del caudal es uniforme a lo largo de la longitud de cada tramo.
- La pérdida de carga en el ramal debe ser determinada para un caudal igual al que se verifica en su extremo inicial.
- Los caudales puntuales (escuelas, hospitales, etc.) deben ser considerados como un nudo.

Para el cálculo de ramales debe considerarse un caudal mínimo de 0,10 l/s.

b) Diseño hidráulico de redes cerradas

Para el dimensionamiento de las tuberías de redes cerradas se deben considerar los siguientes aspectos:

- El caudal total que llega al nudo debe ser igual al caudal que sale del mismo.
- La pérdida de carga entre dos puntos por cualquier camino es siempre la misma.

En las redes cerradas se podrán considerar los siguientes errores máximos:

- 0,10 m.c.a. de pérdida de presión como máximo en cada malla y/o simultáneamente debe cumplirse en todas las mallas.
- 0,10 l/s como máximo en cada malla y/o simultáneamente en todas las mallas.

Las redes cerradas no deben tener anillos mayores a 1 km por lado.

Preferentemente las pédidas de carga en tuberías principales y secundarias debe estar alrededor de 10 m/km.

Para el análisis hidráulico de una red de distribución cerrada pueden utilizarse uno de los siguientes métodos:

a) Método de Hardy Cross.
b) Método de Newton-Raphson.
c) Método matricial.
d) Otros métodos equivalentes.

9.5.9 Ubicación de tuberías

En poblaciones dispersas no urbanizadas, la red de distribución debe ubicarse en lo posible lo más próxima a las viviendas para facilitar su conección.

En redes cerradas las tuberías de la red de distribución pueden ubicarse en los costados Sur y Este de las calles a 1,00 m del cordón de la acera o a un tercio de la calzada.

Debe colocarse doble tubería en una calle, cuando:

- El ancho de la vía es mayor a 18 m.
- Existe intenso tráfico de vehículos de alto tonelaje.
- El costo de reposición de pavimento de las conexiones domiciliarias fuese más caro que la construcción de red doble.

La separación entre tuberías de agua potable y alcantarillado debe ser de 1,50 m en planta, debiendo colocarse la tubería de agua potable a 0,30 m como mínimo por encima de la del

alcantarillado.

9.5.10 Etapas de construcción

El proyecto elaborado de acuerdo al período de diseño establecido debe permitir la construcción de la red por etapas.

Deben definirse las obras mínimas que corresponden a cada etapa a fin que la red satisfaga las condiciones para las cuales fue prevista.

No deben ser consideradas etapas de construcción las obras de expansión de la red que son ejecutadas en forma continua durante el periodo de la validez del proyecto con el fin de atender el incremento gradual de la población abastecida.

9.5.11 Materiales

La elección del material de las tuberías debe ser realizada sobre la base de las características topográficas y agresividad del suelo al material de la red, velocidades de escurrimiento, presiones máximas y mínimas que se deseen lograr, análisis económico, costos de mantenimiento y todos los aspectos especificados en la Norma correspondiente.

Para las tuberías de distribución pueden utilizarse: FF, FFD, FG, PVC o PEAD de acuerdo a las características particulares de cada proyecto y de los factores económicos.

9.5.12 Accesorios

Los accesorios (uniones, codos, tees, reducciones, válvulas, anclajes, etc.), elementos importantes complementarios a la instalación de tuberías, deben ser compatibles entre sí, en lo que se refiere a presiones de trabajo, dimensiones (diámetros, espesores, sistemas de unión) y estabilidad electroquímica si se trata de materiales diferentes.

9.5.13 Pendientes

Con el objeto de permitir la acumulación del aire en los puntos altos y su eliminación por las válvulas ventosa y facilitar el arrastre de sedimentos hacia los puntos bajos para el desagüe de las tuberías, éstas no deben colocarse en forma horizontal.

La pendiente mínima de la tubería debe ser:

a) i = 0,04%, cuando el aire circula en el sentido de escurrimiento del agua.

b) i = 0,10% a 0,15%, cuando el aire circula en el sentido contrario al escurrimiento del agua.

En este último caso la pendiente no debe ser menor que la pendiente de la línea píezométrica de ese tramo.

9.5.14 Profundidad de instalación

La profundidad mínima a la cual debe instalarse la tubería de la red de distribución debe ser 0,80 m medida desde la rasante del terreno hasta la clave de la tubería. En aquellos casos en que exista o se prevea volumen alto de tráfico o tráfico de vehículos de alto tonelaje, la profundidad mínima deberá ser de 1,00 m desde la clave de la tubería.

Cuando las tuberías pasen por debajo de carreteras o vías férreas o tengan que cruzar ríos o arroyos se deben proyectar estructuras especiales y obras de protección que garanticen la seguridad de la tubería.

En área rural la profundidad mínima de la tubería debe ser 0,60 m, medida desde la rasante del terreno hasta la clave de la tubería.

9.5.15 Válvulas

La red de distribución debe estar provista de válvulas destinadas a interrumpir, controlar o regular el flujo de agua en la tubería. Para ello, deben considerarse los siguientes tipos de válvulas:

a) Válvulas de control o bloqueo

Deben utilizarse para aislar tramos o zonas de abastecimiento, en las intersecciones de redes principales cuyo desarrollo no debe sobrepasar:

- 1 500 m en poblaciones menores y de baja densidad (menor a 250 hab/ha).

- 800 m en poblaciones con densidad mayor a 250 hab/ha.

Debe colocarse una válvula en los puntos en que exista un ramal de derivación importante.

En poblaciones rurales menores a 2 000 habitantes puede proveerse solo una válvula de entrada a la red de distribución, excepto en los casos en los que se tenga que definir áreas de consumo o zonas de presión diferenciada.

b) Válvulas de purga de aire o ventosa

En los puntos altos de la red y cuando el angulo formado por una línea horizontal y la tubería sea mayor o igual a 30º debe instalarse una válvula de purga o ventosa a efectos de facilitar la salida de aire.

c) Válvulas de limpieza o desagüe

Deben utilizarse en los puntos bajos de la red. En los puntos terminales más bajos deben disponerse de válvulas de purga. El número de las mismas las determinará el proyectista de acuerdo a las características topográficas del terreno.

Donde existan válvulas de purga deben diseñarse obras necesarias para su adecuado desagüe.

d) Válvulas de retención

Deben colocarse en las tuberías de distribución por bombeo (líneas de impulsión) a efecto de evitar el retroceso del agua, con el consiguiente vaciado del conducto y posibles daños a las bombas.

e) Válvulas reductoras de presión

Deben utilizarse en función a los requerimientos de la red de distribución para cumplir con lo establecido en el punto 9.5.5.

9.5.16 Hidrantes

Los hidrantes para combatir incendios deben instalarse en tuberías de un diámetro mínimo de 75 mm. Deben ubicarse de acuerdo a un estudio específico, con preferencia en lugares próximos a establecimientos públicos e industriales vulnerables a los incendios, a una distancia entre ellos no mayor a 500 m para poblaciones de 10 000 habitantes a 100 000 habitantes y no mayor a 1 000 m para poblaciones mayores a 10 000 habitantes.

Deben ubicarse en puntos estratégicos, esquinas o intersección de calles y sobre la acera acordados con el municipio, el cuerpo de bomberos y estar provistos de una señalización en la que se incluya el díametro de la tubería a la cual está conectado el hidrante y la distancias respecto a la señalización.

Cada hidrante debe llevar su propia válvula para aislarlo de la red.

9.5.17 Dispositivos y obras complementarias

En las redes de distribución deben considerarse también los siguientes dispositivos y obras complementarias:

a) Válvulas.
b) Cámara para válvulas.
c) Medidores (macro y micro medidores).
d) Estaciones reductoras de presión
e) Anclajes.
f) Estructuras especiales.
g) Conexiones domiciliarias.
h) Piletas públicas.

CAPÍTULO 10 - PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA

10.1 DEFINICIÓN

Las plantas potabilizadoras de agua son un conjunto de obras civiles, instalaciones y equipos convenientemente dispuestos para llevar a cabo operaciones y procesos unitarios que permitan obtener aguas con calidad aptas para el consumo humano.

Las plantas de tratamiento tienen por objeto mejorar la calidad del agua no tratada a través de procesos físicos, químicos y biológicos para obtener un producto (agua tratada) que cumpla con los requisitos de la Norma Boliviana NB-512 (Agua Potable - Requisitos).

El proceso de tratamiento puede incluir todas o parte de las siguientes operaciones y procesos unitarios: cribado o cernido, presedimentación, aireación, coagulación, floculación, sedimentación, flotación, filtración, desinfección, fluoración y procesos complementarios como la recarbonatación, corrección del pH, estabilización de solutos, desalinización, precipitación química, intercambio iónico y adsorción para cumplir el objetivo de la unidad de tratamiento. El tratamiento requerido se tomará en función a la calidad de las aguas de las fuentes.

10.2 CONSIDERACIONES GENERALES

El diseño de plantas potabilizadoras debe tomar en consideración aspectos relacionados con el tratamiento de las aguas, la tecnología aplicada, factores de operación y mantenimiento que sean factibles de aplicarse en el medio para el cual se diseña la planta, factores técnico – económicos y financieros que viabilicen la alternativa propuesta y los aspectos ambientales.

10.2.1 Tratamiento de las aguas

El grado y tecnología aplicada al tratamiento de las aguas depende de su origen (subterráneo, superficial o meteórico), principalmente por la calidad físico-química y bacteriológica que presentan al llegar a las instalaciones de tratamiento.

En las aguas subterráneas que cumplen con los requisitos físico – químicos establecidos en la NB 512 (Agua Potable – Requisitos), extraídas de forma segura mediante pozos excavados, pozos semiprofundos, pozos profundos o aguas captadas de manantiales o vertientes, se debe aplicar como único tratamiento la desinfección.

Las aguas de lluvias son aptas para el consumo humano si son captadas, almacenadas y manipuladas adecuadamente. Se debe aplicar un proceso de desinfección previo al consumo humano.

Las aguas superficiales presentan variabilidad en su composición y calidad, por lo que se debe aplicar el concepto multibarrera o múltiple etapa con el objeto de obtener aguas aptas para consumo y uso humano.

El tratamiento en general se debe llevar a cabo en unidades convenientemente dispuestas y cuya tecnología presentará diferentes características según la magnitud del proyecto y el contexto en el que se desarrolla (urbano, periurbano y rural). En las unidades de tratamiento se llevarán a cabo los procesos de transferencia de masa destinados a adicionar elementos y compuestos necesarios para la obtención de la calidad deseada y la remoción de elementos y compuestos indeseables para el consumo humano, a valores indicados en la Norma Boliviana NB 512.

El tratamiento de las aguas con destino a consumo humano debe considerar lo siguiente:

- Los procesos y operaciones de tratamiento.
- La definición de los parámetros de calidad.
- El tipo de fuente (superficial y subterránea).

Debe tomarse en cuenta en las decisiones de selección de los procesos y operaciones de tratamiento de las aguas los siguientes aspectos:

a) La remoción de contaminantes

El agua que no reúna condiciones de potabilidad, debe ser sometida a las operaciones y procesos de tratamiento que permitan la remoción de los contaminantes hasta obtener la calidad establecida en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos). Los procesos requeridos para la remoción de contaminantes se detallan en la **Tabla 1** del **Anexo D (Normativo).**

b) La calidad de las aguas en la fuente de origen

Debe ser tal, que una vez tratadas sean aptas para consumo humano. Se rigen a la clasificación de los GRUPOS I, II, III, IV, y V mostrado en el **Anexo A (Normativo)** de la presente Norma.

c) Los factores de fiabilidad de los procesos

Deben permitir decidir y seleccionar el proceso de tratamiento, en base a experiencias similares o estudios de caso.

Se deben definir los parámetros de calidad que deben ser modificados siendo necesario identificar aquellos parámetros físico-químicos, microbiológicos y radiológicos que exceden los valores establecidos en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos), a través de un proceso de caracterización de las fuentes, diferenciada para la época de estiaje y la de lluvias.

Deben establecerse las características de las fuentes alternativas de agua (superficial y subterránea), si se dispone de ambos recursos como base de la toma de decisiones técnico - económicas, analizando ventajas y desventajas que ofrezcan cada una de las alternativas.

10.2.2. Tecnología aplicada

Se debe seleccionar la tecnología a partir de un análisis de predicción de calidad y de tratabilidad del agua, éste análisis es realizado a través de plantas piloto construidas específicamente para cada caso particular o modelos a escala de laboratorio (prueba de jarras), de manera tal que, se alcance el propósito del tratamiento y se obtenga un producto (agua tratada) de calidad aceptable a costo razonable.

En el caso de que el tratamiento del agua no requiera el uso de sustancias químicas, la tecnología debe ser seleccionada en base a lo establecido en el Capitulo 12 de la presente Norma.

El tratamiento en lo posible debe incluir tecnología simple, minimizando o evitando los productos químicos y equipos mecánicos, como base de la preservación de la salud, la minimización de costos y el aseguramiento de la sostenibilidad.

La solución tecnológica debe ser conocida, comprendida y aceptada por los beneficiarios y en su caso deberá participar en las decisiones que le compete, a objeto de garantizar la sostenibilidad del sistema adoptado a través de la capacidad y voluntad de pago por el beneficio de recibir agua de calidad aceptable.

10.2.3 Operación y mantenimiento de la plantas

El diseño de sistemas de tratamiento debe incluir manuales de operación y mantenimiento, especificaciones técnicas de materiales y equipos, planos a detalle, para asegurar óptimo desempeño y su sostenibilidad en el tiempo.

Los sistemas de tratamiento deben incluir un análisis de vulnerabilidad ante eventos provocados por el hombre o por la naturaleza (desastres naturales) que afecten la calidad de la materia prima (agua) y su infraestructura y proponer las medidas de mitigación para cada caso particular.

10.2.4 Aspectos técnico - económicos y financieros

La selección de la alternativa de tratamiento debe efectuarse mediante un análisis de costo-beneficio tomando en cuenta los costos de inversión, operación y mantenimiento, cumpliendo la calidad exigida en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos).

10.2.5 Aspectos ambientales

El diseño de los sistemas de tratamiento debe tomar en consideración aspectos ambientales a tiempo de disponer del recurso hídrico para destinarlo a consumo humano, en cantidad tal que no afecte el equilibrio ecológico.

Las plantas potabilizadoras deberán ubicarse de manera tal que no produzcan alteraciones ambientales a tiempo de construirlas, operarlas y mantenerlas.

Los residuos generados por las plantas no deben afectar el medio ambiente, por lo que el proyectista a tiempo de diseñar el sistema de tratamiento y disposición final, seleccionará la tecnología adecuada.

10.3 DEMANDA DE AGUA

Debe determinarse la demanda de agua de manera tal que queden satisfechas las demandas de los usuarios, a partir de estudios específicos realizados en cada categoría. Los usuarios a considerar serán: el doméstico, comercial, industrial y público.

10.4 PERIODO DE DISEÑO

Debe adoptarse en base al crecimiento poblacional, aspectos técnicos, económicos, financieros y periodo de vida de varios componentes de las obras civiles y equipos.

Para instalaciones con capacidad de tratamiento mayor a 1,0 m^3/s, el periodo de diseño será de 20 a 30 años.

Para instalaciones con capacidad de tratamiento menor a 1,0 m^3/s, el periodo de diseño será de 15 a 20 años.

Para instalaciones que correspondan al concepto de tecnología apropiada será de 5 a 10 años; excepcionalmente de 15 a 20 años, justificada por el projectista.

El proyectista debe justificar el periodo de diseño según las características poblacionales y los contextos socio – económicos y financieros del proyecto.

10.5 UBICACIÓN DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS

Las plantas de tratamiento de agua se deben ubicar tomando en cuenta los siguientes factores técnicos, socio - económicos y ambientales:

- Topografía del terreno.
- Resistencia y capacidad portante del terreno.
- Profundidad del nivel freático.
- Facilidad de llegada del agua no tratada.
- Accesibilidad a los servicios públicos de energía eléctrica y alcantarillado.
- Distancias a principales vías de comunicación.
- Proximidad a suministro de insumos para la construcción, operación y mantenimiento.

10.6 CAPACIDAD NOMINAL DE DISEÑO DE LAS PLANTAS

La capacidad nominal de diseño de la plantas, corresponde al caudal de la demanda máxima diaria proyectada para el periodo de diseño.

El agua empleada en la planta y las pérdidas de la misma por diferentes circunstancias, no están incluidas en la capacidad nominal. En caso de no contar con un sistema de recirculación de las aguas de lavado y limpieza, se incrementará la capacidad nominal en un 3.5% - 7%, para compensar los consumos y pérdidas de la planta.

10.7 ETAPAS O FASES DEL PROYECTO

Las plantas potabilizadoras de agua podrán ser construidas en etapas o en fases para que los costos de operación de la planta no sean elevados y sus componentes subutilizados.

10.8 LÍNEAS DE TRATAMIENTO

La línea de tratamiento es el conjunto de unidades capaces de lograr el tratamiento completo del agua. Su número se seleccionará en consideración a la flexibilidad de operación, mantenimiento y capacidad de cada unidad de proceso.

10.9 MEDICIÓN DE CAUDALES

La medición de caudales en las plantas de tratamiento debe realizarse al ingreso y a la salida de las instalaciones con los dispositivos adecuados al tamaño y ámbito de la planta. Para instalaciones con caudales menores a 1,0 m^3/s preferentemente se utilizarán medidores hidráulicos. Para instalaciones con caudales mayores a 1,0 m^3/s, podrán utilizarse electromecánicos o sistemas automatizados.

10.10 REGULADORES DE RÉGIMEN HIDRÁULICO

Se debe disponer de reguladores de régimen hidráulico toda vez que se determine flujos de alta carga hidráulica y régimen turbulento. Se ubicará en el ingreso a la planta potabilizadora de agua.

En caso necesario estos dispositivos deben repartir los caudales equitativamente a través de dispositivos manuales o automáticos.

Los reguladores de régimen hidráulico deben prever el ingreso de los caudales punta.

10.11 OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS EN PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA

La aplicación de operaciones y procesos unitarios, permitirán la potabilización de las aguas a los niveles exigidos en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos).

Los procesos de transferencia de fase empleados en el tratamiento del agua para el consumo humano son: transferencia de sólidos, iones, gases y molecular o de nutrientes. Complementariamente y de acuerdo a las necesidades se debe realizar el proceso de estabilización de solutos, desalinización, fluoruración o defloruración y cloración o decloración.

10.11.1 Transferencia de sólidos

Comprende el cribado o cernido, desarenación, sedimentación, flotación, prefiltración y filtración.

a) Cribado o cernido; Se debe llevar cabo a través de rejas o tamices que retienen los sólidos de tamaño mayor a la separación de las barras o mallas tamizadoras.

Rejas de limpieza manual
Deben ser construidas con barrotes rectos de acero, a veces verticales o inclinados con ángulos de 60 y 80 º sobre la horizontal, especialmente construidas en plantas alimentadas por aguas superficiales.

Rejas de limpieza mecánica
Deben ser construidas según requerimientos de caudal, profundidades de canal, ancho del canal, debiendo referirse específicamente al fabricante en caso de utilizarlas.

Parámetros de diseño:

Velocidad de paso
La velocidad media de paso entre barrotes será de 0,60 m/s a 1,0 m/s para caudal mínimo y de 1,20 m/s a 1,40 m/s para caudal máximo.

Pérdida de carga
La pérdida de carga debe ser de 0,05 m para caudal mínimo y de 0,15 m para caudal máximo

Dimensionamiento:

Cribado fino, con separación entre barras	3 mm a 10 mm
Cribado medio, con separación entre barras	10 mm a 25 mm
Cribado grueso, con separación entre barras	30 mm a 100 mm

b) Sedimentación; Se debe llevar a cabo en desarenadores, presedimentadores y decantadores donde se promueve la remoción de partículas en suspensión más densas que el agua.

i) Desarenadores

Tienen por objeto extraer del agua cruda, la gravilla, arena y partículas minerales más o menos finas.

El desarenado se refiere a partículas mayores a 200 micrómetros (0,2 mm) y peso específico de 2 650 kg/m3

Parámetros de diseño:

El dimensionamiento de las unidades debe estar en función de la velocidad de sedimentación V_s y la velocidad de escurrimiento horizontal V_h, Se verificará que la velocidad de resuspensión V_a sea mayor a la velocidad horizontal V_h.

Carga superficial

La velocidad de sedimentación V_s se expresa generalmente como carga superficial (q)

Velocidad de sedimentación

Se pueden tomar como base los valores de carga superficial de la **Tabla 10.1** y **10. 2**, válidos en sedimentación libre, para partículas de peso específico 2 650 kg/m3.

Tabla 10.1. Cargas superficiales en desarenadores

d (mm)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	3	5	10
Vc (mm/s)	2	7	23	40	56	72	150	270	350	470	740
Vc' (mm/s)	0	5	17	30	40	50	110	210	260	330	-
Vc" (mm/s)	0	0	16	30	45	60	130	250	330	450	650
Vl (mm/s)	150	200	270	320	380	420	600	830	1000	1300	1900

Vc = Velocidad de sedimentación para un fluido de velocidad horizontal nula
Vc' = Velocidad de sedimentación para un fluido de velocidad horizontal igual a Vl
Vc" = Velocidad de sedimentación para un fluido de velocidad horizontal igual a 0.30 m/s.
Vl = Velocidad de sedimentación crítica de arrastre de la partícula depositada.
(Fuente: Degremont; 1974).

Tabla 10.2. Cargas superficiales según Hazen

Diámetro partícula (mm)	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,10
Velocidad de sedimentación (mm/s)	100	83	63	53	42	32	21	15	8

Velocidad de sedimentación crítica

La velocidad de sedimentación crítica V_{sc} corresponde a una velocidad minorada por factores tales como: gradientes de temperatura (ambiente y agua), cortocircuitos, zonas muertas, deficiencias en los dispositivos de entrada y salida. Se debe considerar un factor minorante "f" que varía de 10 al 30 % (f =1,1 a 1,3)

$$V_{sc} = \frac{V_s}{f}$$

Velocidad de escurrimiento horizontal

La velocidad horizontal V_h debe estar en el rango de 0,30 m/s a 0,40 m/s con periodos de retención de 30 s a 120 s que permiten la sedimentación de las partículas de arena.

$$V_h = \frac{Q}{B * H}$$

Donde:
- V_h Velocidad de escurrimiento horizontal en m/
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- B Ancho del desarenador en m
- H Profundidad del desarenador en m

Velocidad de resuspensión

Para evitar la resuspensión de las partículas, la velocidad de arrastre V_a debe ser mayor que la velocidad horizontal V_h.

Dimensionamiento:

Superficie del desarenador

$$q = \frac{Q}{A_s} \quad ; \quad A_s = B * L$$

Donde:
- q Carga superficial adoptada en m^3/m^2s
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- A_s Área superficial en m^2
- B Ancho del desarenador en m
  Recomendable: 0,60 m (mínimo)
- L Largo del desarenador en m

Relación largo – ancho: $\frac{L}{B}$ = 7 a 12

Profundidad del desarenador

$$H = \frac{Q}{B * V_h}$$

Donde:
- H — Profundidad del desarenador en m. Recomendable: 0,50 m (mínimo)
- Q — Caudal de diseño en m^3/s
- B — Ancho del desarenador en m
- V_h — Velocidad de escurrimiento horizontal en m/s

Relación largo – alto: $\frac{L}{H}$ = 15 a 22,5

Se debe cumplir que:

$$L / H = V_h/V_{sc}$$

ii) Presedimentadores

Son unidades de pretratamiento que tienen por objeto separar las partículas sólidas de un líquido; estas partículas no deben ser de origen coloidal. Los diámetros están comprendidos entre 0,01 mm y 0,20 mm.

Parámetros de diseño

Se toma en consideración las partículas discretas, el escurrimiento horizontal Vh, la velocidad de sedimentación V_s (velocidad de sedimentación crítica V_{sc}), el tiempo de retención y la carga lineal de los vertederos. Véase **Tabla 10.3**.

Tabla 10.3. Parámetros de diseño

Parámetro de diseño	Unidades	Valores
Tiempo de retención	Horas	1,5 - 3,0
Carga superficial	m^3/m^2d (mm/s)	24,2 – 60,5 (0,28 – 0,70)
Velocidad horizontal	mm/s	<10
Carga lineal de vertederos	Litros/ m s	<10

Fuente: Sedimentación; Huisman 1992

Dimensionamiento:

Superficie del presedimentador

$$q = \frac{Q}{A_s} \quad ; \quad A_s = B * L$$

Donde:
- q — Carga superficial adoptada en m^3/m^2s
- Q — Caudal de diseño en m^3/s
- A_s — Área superficial en m^2
- B — Ancho del desarenador en m. Recomendable: 0,60 m (mínimo)
- L — Largo del desarenador en m

Relación largo – ancho: $\frac{L}{B}$ = 4 a 8

Profundidad del presedimentador

$$H = \frac{Q}{B * V_h} \; ; t = \frac{V}{Q} \; ; \; H = \frac{Q * t}{A_s}$$

Donde:	H	Profundidad del presedimentador en m Recomendable (3 m a 5 m)
	Q	Caudal de diseño en m^3/s
	B	Ancho del presedimentador en m
	V_h	Velocidad de escurrimiento horizontal en m/s
	t	Tiempo de retención en segundos en s
	V	Volumen del presedimentador en m^3
	A_s	Área superficial en m^2

iii) Sedimentadores de alta tasa

Las Unidades de sedimentación de alta tasa son de alta eficiencia y de poca profundidad con relación a los sedimentadores clásicos. Se realiza en elementos poco profundos; placas planas paralelas, placas onduladas paralelas, módulos tubulares, de sección cuadrada, hexagonal, octogonal y otras, colocados en los tanques, presentando en cada caso eficiencias particulares. Los tiempos de retención son cortos (15 minutos)

Sedimentadores de flujo ascendente

Unidades de tratamiento en las cuales el flujo de agua atraviesa a los elementos insertos en forma ascendente.

Sedimentadores de flujo descendente

Unidades de tratamiento en las cuales el flujo atraviesa a los elementos insertos en forma descendente.

Parámetros de diseño

Tanto para sedimentadores de flujo ascendente como descendente, se aplican las mismas relaciones

Dimensionamiento

Número de Reynolds
El número de Reynolds debe ser menor a 500 para garantizar el flujo en transición.

$$Re = \frac{V_o * d}{\nu} \quad ; \quad \nu = \frac{497 * 10^{-6}}{(T + 42.5)^{1.5}}$$

Donde:	Re	Número de Reynolds (adimensional)
	v_o	Velocidad promedio del fluido en el sedimentador en m/d
	d	Ancho del conducto o espaciamiento entre placas en m
	ν	Viscosidad cinemática en m^2/s
	T	temperatura del agua en ºC

Tiempo de retención: El tiempo de retención es de 3 a 6 minutos en los sedimentadores de tubos y de 15 a 25 minutos en sedimentadores de placas.

$$t = \frac{l}{V_o}$$

Donde:
- t tiempo de retención en min
- l longitud recorrida a través del elemento (tubo, placa) en m
- V_o Velocidad promedio del fluido en el sedimentador en m/min

Velocidad crítica de sedimentación:

$$V_{sc} = \frac{S_c\, V_o}{Sen\theta + L_c Cos\theta}$$

$$L_c = L - L' \quad ; \quad L = \frac{l}{d} \quad ; \quad L' = 0{,}013 * Re$$

Donde:
- V_{sc} velocidad crítica de asentamiento o carga superficial de sedimentación de alta tasa
- V_o Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación de alta tasa o carga superficial en el área de sedimentación de alta tasa
- θ Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa
- S_c Parámetro característico; igual a 1,0 para sedimentadores de placas paralelas
- S_c Parámetro característico; igual a 4/3 para tubos de sección circular
- S_c Parámetro característico; igual a 11/8 para conductos de sección cuadrada

El valor de S_c para sedimentadores de placas paralelas es 1,0. Cualquier partícula suspendida con un valor mayor o igual a 1,0 en un sedimentador de placas paralelas será removida.

- L_c Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en flujo laminar, corregida en la longitud de transición L' (adimensional)
- L Longitud relativa del sedimentador (adimensional)
- l longitud recorrida a través del elemento (tubo, placa) en m
- d Ancho del conducto o espaciamiento entre placas en m
- Re Número de Reynolds (adimensional)
- θ Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa

Velocidad promedio de flujo entre placas

$$V_o = \frac{Q}{A * Sen\theta}$$

Donde:
- V_o Velocidad promedio de flujo entre placas en m/s
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- A Área superficial en m^2
- θ Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa

Carga superficial

$$CS = \frac{Q}{A} \quad ; \quad A = \frac{Q}{CS}$$

Donde:
- CS Carga superficial de sedimentación en m^3/m^2d
- Q Caudal de diseño en m^3/d
- A Área superficial en m^2

El valor de la carga superficial CS debe obtenerse en laboratorio o pruebas de campo y cuyo valor tendrá relación con un valor de eficiencia remocional deseable o la máxima turbiedad admisible por las unidades de filtración (razonable hasta 10 UNT).

El valor V_{sc} es comparable con la carga convencional superficial de diseño que para flóculos de sulfato de aluminio que es de 14 – 22 m/d

Longitud de sedimentación

$$L_s = \frac{A}{b}$$

Donde:
- L_s Longitud de sedimentación en m
- A Área superficial en m^2
- b Ancho del sedimentador en m; asumido por el proyectista en función al ancho de placas.

Número de placas por módulo

$$N = \frac{L_s\, Sen\theta + d}{d + e}$$

Donde:
- N Número de placas por módulo
- L_s Longitud de sedimentación en m
- θ Ángulo de inclinación de las placas en (º)
- d Separación entre placas en m
- e Espesor de las placas en m

c) Flotación; Se debe llevar cabo en tanques con sistemas de aire a presión incorporado que promueve que los sólidos con densidades menores a la del agua asciendan a la superficie de la unidad de donde son retirados por desnatado, utilizándose en algunos casos agentes de flotación (microburbujas de aire).

Dimensionamiento:

Profundidad del tanque: 1.5 m
Tasa de rebose: 8 a 12 m/h (depende del agua tratada)

Inclinación del baffle: 60 º (con la horizontal)
Área de tanques: mayores a 80 m^2 (operacionales)
Tiempo de retención: 5 a 15 minutos (depende de la carga superficial y la profundidad del tanque).

d) Prefiltración y Filtración; Se debe llevar a cabo en unidades que promuevan la remoción de sólidos en suspensión por medio del paso del agua a través de un medio poroso, normalmente grava y arena, en el que actúan mecanismos de remoción según las características del proceso; sin uso de químicos (Filtración Múltiple Etapa - FiME); Filtración Gruesa, Dinámica FGDi, Filtración Gruesa Ascendente FGA, Filtración Gruesa Descendente FGD filtración lenta) y con uso de químicos (tratamiento convencional); filtración rápida de tasa constante y tasa declinante.

La selección de los procesos de tratamiento del Sistema de Filtración de Múltiples Etapas, según la calidad del agua, son los señalados en la **Tabla 10.4**.

Tabla 10.4. Guía de selección de los procesos de tratamiento en sistema de Filtración de Múltiples Etapas

Etapa de tratamiento y distribución	Turbidez			Coliformes termorresistentes o E. Coli		
	Eficiencia de remoción (%)*	Valor promedio U.N.T.	Valor máximo recomendable U.N.T.	Eficiencia de remoción (%)*	Valor promedio U.F.C./100 ml.	Valor máximo U.F.C./100 ml.
Sedimentación o filtro grueso dinámico	50	60	600	50	1 000	10 000
Prefiltración (gruesa en 3 etapas)	80	30	300	90	500	5 000
Filtración lenta en arena	>90	6	60	95	50	500
Desinfección	N.A. *	<1	< 5	> 99,99	< 3	25
Agua tratada en el sistema de distribución (red)	N.A. *	<1	< 5	N.A. *	< 1	< 1

* Remociones esperadas en cada etapa para cumplir los objetivos del tratamiento.
Fuente: Barry Lloyd, Gerardo Galvis, Rafael Eurovique
N.A.: No aplicable.

Adaptado de: Filtración en Múltiples etapas CINARA – IRC; 1999

Filtración Gruesa Dinámica (FGDi)

Este sistema consiste básicamente de dos o más módulos operados paralelamente con flujo descendente donde cada unidad es empacada con lechos de grava de tamaño variable en el rango de grueso en el fondo y a fino en la superficie.

Cámara de filtración

Es la zona donde se realiza el proceso de tratamiento, normalmente la altura total del filtro es de 0,70 m, con paredes verticales construidas en mampostería o concreto reforzado.

Lechos filtrantes y de soporte

El medio filtrante está conformado por tres capas de grava con tamaños que varían entre 3,0 y 25,0 mm. La grava de fondo como la intermedia funcionan como lechos de soporte, el tamaño de la grava del lecho de soporte, varía según el tamaño de la grava superficial y del diámetro de los orificios del múltiple recolector.

Parámetros de diseño

Los parámetros recomendados por Cinara – IRC, tomando como base su trabajo a nivel de planta piloto, señala conservar la estratificación propuesta en la **Tabla 10.5**, en la cual indica las guías de diseño para filtros gruesos dinámicos.

Tabla 10.5. Guías de diseño para Filtros Gruesos Dinámicos.

Criterio	Valores recomendados
Período de diseño (años)	8 – 12
Período de operación (h/d) (*)	24
Velocidad de filtración (m/h)	2 – 3
Número mínimo de unidades en paralelo	2
Área de filtración por unidad (m^2)	< 10
Velocidad superficial del flujo durante el lavado superficial (m/s)	0.15 – 0.3
Lecho filtrante:	
Longitud (m)	0.6
Tamaño de gravas (mm)	Según **Tabla 10.6**
Altura de vertedero de rebose (m) (**)	0.03 – 0.05

(*) En estaciones de bombeo de agua con periodos de operación inferiores a 24 h/d, se recomienda proyectar un almacenamiento de agua cruda, a partir del cual se suministre agua de manera continua al FGDi y demás componentes del FiME.
(**) Medidos a partir del lecho superficial de grava fina.

Se recomienda áreas superficiales entre 3,0 y 5,0 m^2 y profundidades entre 0,20 y 0,40 m., siendo que sus dimensiones deben ser tales que faciliten el desplazamiento y maniobrabilidad del operador.

Tabla 10.6. Especificaciones del lecho filtrante recomendado para Filtros Gruesos Dinámicos

Posición en la Unidad	Espesor de la Capa (m)	Tamaño de Grava (mm)
Superior	0.20	3.0 – 6.0
Intermedio	0.20	6.0 – 13.0
Inferior, fondo	0.20	13.0 – 25.0

Eficiencia de Remoción

Está orientado a reducir la concentración de material suspendido, como la remoción de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos. Véase **la Tabla 10.7** en la cual se establecen los parámetros y la reducción típica para filtros gruesos dinámicos.

Tabla 10.7. Eficiencia remocional

Parámetro	Reducción típica
Sólidos Suspendidos	Entre el 70 y el 80 %, con fuentes en el rango de 10 a 200 mg/l
Turbiedad	Entre 30 y el 50 % en fuentes de zona plana. En fuentes de ladera, la remoción fue aproximada al 50%. La eficiencia de remoción es afectada por la naturaleza, tamaño y distribución de las partículas.
Color Real	Entre 10 y 25 %, con fuentes en el rango entre 15 y 20 UPC.
Hierro, Manganeso	Entre 40 y 70 % como hierro total y entre el 40 y 60 % para manganeso.
Coliformes Termorresistentes	Entre 50 y 80 %, para niveles de Coliformes Termorresistentes en el agua cruda en el rango 2 000 a 100 000 UFC/100 ml y sólidos suspendidos entre 10 y 50 mg/l

Dimensionamiento

El área superficial de la unidad A_S en m^2.

$$A_s = \frac{Q_d}{V_f} = b * l \quad A_s < 10\ m^2 \text{ por cada módulo}$$

Donde:
- Q_d Caudal de diseño en m^3/h
- V_f Velocidad de filtración seleccionada en m/h
- b Ancho en m
- l Largo en m

El ancho de la unidad es un parámetro que depende de la velocidad superficial Vs que varía entre 0,15 (cuando predominan limos y material orgánico) y superiores a 0,2 m/s (cuando predominan arenas y arcillas).

Se calculará el largo en m, por la siguiente relación.

$$l = \frac{A_s}{b}$$

Filtración Gruesa Ascendente (FGA)

Es un sistema conformado por una sola unidad, Filtración Gruesa Ascendente en Capas (FGAC), ésta es empacada con lechos de grava de diferente tamaño en el rango de gruesa en el fondo, a fina en la superficie.

Este sistema tiene como ventaja favorecer en la acumulación de sólidos en el fondo del filtro, donde se encuentra localizado el sistema de drenaje

Cámaras de filtración

La altura total del filtro está determinada por la altura del lecho de grava, Esta altura debe estar en el rango de 1,1 a 1,5 m. Se debe construir con concreto reforzado.

Lechos filtrantes y de soporte

Consiste de 5 capas de grava con tamaños diferentes, variando entre 25 y 1,6 mm en la dirección del flujo y distribuidas en 1,2 ó 3 compartimentos.

La capa de grava de 0,20 a 0,40 m en contacto con el sistema de drenaje, constituyen el lecho de soporte.

Parámetros de diseño.

Los parámetros recomendados por Cinara – IRC, están basados en la experiencia con unidades experimentales y plantas a escala real. La **Tabla 10.8** contiene los criterios, los cuales son guías de diseño para filtros gruesos ascendentes.

Tabla 10.8. Guías de diseño para filtros gruesos ascendentes

Criterio	Valores recomendados
Período de diseño (años)	8 – 12
Período de operación (h/d) (*)	24
Velocidad de filtración (m/h)	0,3 – 0,6
Número mínimo de unidades en serie - FGAC - FGAS	 1 2 – 3
Área de filtración por unidad (m^2)	< 20
Lecho filtrante:	
Longitud total (m) - FGAC - FGAS	 0,6 – 0,90 1,15 – 2,35
Tamaño (mm)	Según **Tabla 10.9**
Lecho de soporte total - Longitud (m) - Tamaño (mm)	 0,30 – 1,25 Según **Tabla 10.9**
Altura del sobrenadante de agua (m)	0,10 – 0,20
Carga estática mínima de agua para lavado en contra flujo (m)	3,0

Tabla 10.9. Lecho filtrante recomendado para Filtros Gruesos Ascendentes

Tamaño de grava (mm)	Altura (m)					
	FGAC	FGAS 2		FGAS3		
		1	2	1	2	3
19 - 25	0,30*	0,30*		0,30*	0,20*	
13 - 19	0,20 - 0,30	0,30 - 0,45	0,20*	0,15	0,15*	0,15*
6 - 13	0,15 - 0,20	0,30 - 0,45	0,15*	0,45 - 0,75	0,15*	0,15*
3 - 6	0,15 - 0,20		0,30 - 0,45		0,40 - 0,70	0,15*
1,6 - 3	0,10 - 0,20		0,25 - 0,40			0,45 - 0,75
Total (m)						
Soporte	0,30	0,30	0,35	0,30	0,50	0,45
Lecho Filtrante	0,60 - 0,90	0,60 - 0,90	0,55 - 0,85	0,60 - 0,90	0,40 - 0,70	0,45 - 0,75

* Lecho soporte
FGAS2: Filtración Gruesa Ascendente en Serie de 2 Etapas
FGAS3: Filtración Gruesa Ascendente en Serie de 3 Etapas

Eficiencia de Remoción

Los filtros gruesos de flujo ascendente constituyen la segunda etapa de tratamiento, orientada a minimizar el número de partículas gruesas y a disminuir la concentración de las más pequeñas. Véase la **Tabla 10.10** en la cual se establecen los parámetros y la reducción típica para filtros gruesos dinámicos.

Tabla 10.10. Eficiencias típicas de tratamiento por Filtros Gruesos Ascendentes

Parámetro	Reducción típica
Sólidos Suspendidos	Alcanza hasta el 95%; 90 % es el valor comúnmente reportado en fuentes con altos contenidos de materia suspendido (50 a 200 mg/l), en fuentes con material suspendido en el rango entre 5 50 mg/l, se reporta remociones del 50 al 90 %
Turbiedad	Entre 50 y 80 % en Fuentes superficiales de valle, siendo mayores para los FGAS en Fuentes superficiales de ladera la remoción esta en el rango de 50 y 90 %
Color Real	Entre 20 y 50 %
Hierro, Manganeso	Alrededor del 50 %
Coliformes Termorresistentes	Reducciones entre 0.65 y 2.5 Unidades Log siendo mayor para FGAS, tratando con contaminación bacteriológica de 20 000 a 100 000 UFC/100 ml y contenidos de sólidos suspendidos entre 20 y 200 mg/l. La menor eficiencia se presentó con fuentes de calidad bacteriológica entre 500 y 20 000 UFC/100 ml

Filtración Gruesa Descendente (FGD)

Corresponde a una serie de 3 compartimientos, cuyos parámetros y valores recomendados se encuentran en la **Tabla 10.11**

Tabla 10.11. Guías de diseño para Filtros Gruesos Descendentes

Parámetro	Valores recomendados
Periodo de operación	24 h/d
Velocidad de filtración	0,3 – 1,0 m/h
Velocidad de drenaje	20 m/h (mínimo)
Altura del medio filtrante	0,9 – 1.2 m (máximo 1.5 m)
Pérdida de carga inicial	0,1 (con filtro limpio)
Pérdida de carga final	0,3 (máxima)
Medio filtrante grueso	25 – 19 mm Primer compartimiento 19 – 13 mm Segundo compartimiento 13 – 4 mm Tercer compartimiento 2 mm (aguas con material coloidal y niveles de contaminación bacteriológica

Sandec (1998)

Eficiencia de Remoción

Experiencias de campo muestran eficiencias similares a la de los filtros ascendentes

Filtración Gruesa Horizontal

Las unidades pueden construirse con 2 o 3 compartimientos de lecho granular de mayor a menor gradación en dirección longitudinal. Los parámetros y valores recomendados para su diseño se encuentran en la **Tabla 10.12**.

Tabla 10.12. Guías de diseño para Filtros Gruesos Horizontales en serie

Parámetro	Valores recomendados
Periodo de operación	24 h/d
Velocidad de filtración	0,3 – 1,5 m/h
Velocidad de drenaje	20 m/h (mínimo)
Altura del medio filtrante	0,8 – 1.2 m
Pérdida de carga $L_{1,2.3}$	5 - 7 m
Pérdida de carga final	0,3 (máxima)
Medio filtrante grueso	25 – 19 mm Primer compartimiento 19 – 13 mm Segundo compartimiento 13 – 4 mm Tercer compartimiento

Sandec (1995)

Eficiencia de Remoción

La eficiencia remocional de un Filtro Grueso horizontal depende del nivel de operación y mantenimiento dado a la unidad. La reducción de turbiedad puede variar desde un 70 hasta un 95 %. La eficiencia en términos de E Coli puede alcanzar hasta un 95%.

Filtración Lenta en Arena (FLA)

Son unidades de baja velocidad de filtración que no requieren sustancias químicas y permiten reducir virus, bacterias, protozoarios o huevos de nemátodos dañinos para la salud pública. Se reduce materia fina orgánica e inorgánica, la cual es retenida en el lecho de arena. Compuestos orgánicos disueltos son más o menos degradados, dependiendo de su naturaleza.

Caja de filtración y estructuras de entrada

La altura total del FLA puede oscilar entre 1,80 m y 2,10 m, dependiendo del espesor de la capa de arena, la altura sobrenadante y del sistema de drenaje empleado. La altura del sistema de drenaje esta alrededor de 0,25 m y puede alcanzar hasta 0,50 m.

La estructura de entrada (cámara de entrada), debe permitir el control del caudal afluente, disipar energía, distribuir flujo y verter excesos.

En la cámara de 0,8 x 0,8 m y 1,0 m de profundidad; la velocidad de paso del agua a través de la ventana debe ser inferior a 0,10 m/s.

Lecho filtrante.

El Tamaño de los granos se debe determinar con base en el diámetro efectivo, d_{10}, y su distribución granulométrica, por el coeficiente de uniformidad C_u. El d_{10} es la abertura del tamiz a través del cual pasa el 10% (en peso) de los granos.

El C_u es igual a la relación d60/d10. Se recomienda arena relativamente fina con diámetro efectivo entre 0,15 y 0,30 mm y coeficiente de uniformidad menor de 5 y preferiblemente entre 2,0 y 4,0.

Capa de agua sobrenadante

En un filtro con control a la entrada, la carga inicial es cercana a 0,05 m, valor que gradualmente se incrementa hasta alcanzar el nivel máximo, oscilando entre 0,60 y 0,80 m.

Capas de grava:

Espesor:	0,10 – 0,15 m
Tamaño efectivo:	9 – 19 mm
Espesor:	0,05 m
Tamaño efectivo:	2 – 9 mm

Capa de Arena Gruesa:

Espesor:	0,05 m
Tamaño efectivo:	0,15 – 0,30 mm

Criterios de diseño

Existen diferentes criterios de diseño en base a la experiencia de autores y países. Véase **Tabla 10.13**.

Tabla 10.13. Criterios de diseño recomendados por autores y países

Criterio de diseño	Recomendación			
	Huisman and Wood (1974)	Ten States Standards (1987)	Visscher et al. USA (1987)	Cinara, IRC (1997) Colombia
Período de diseño (años)	n.e.	n.e.	10 - 15	8 – 12
Período de operación (h/d)	24	n.e.	24	24
Velocidad de filtración (m/h)	0,1-0,4	0,08-0,24	0,1-0,2	0,1-0,3
Altura de arena (m) Inicial Mínima	 1,2 0,7	 0,8 n.e.	 0,9 0,5	 0,8 0,5
Diámetro efectivo (mm)	0.15-0.30	0.15-0.35	0.30-0.45	0.15-0.30
Coeficiente de uniformidad Aceptable Deseable	 <3 <2	 ≤2.5 n.e.	 <5 <3	 <4 <2
Altura del lecho de soporte incluye drenaje (m)	n.e.	0,4-0,6	0,3-0,5	0,25
Altura de agua sobrenadante (m)	1-1,5	0,9	1	0,75 (*)
Borde libre (m)	0,2-0,3	n.e.	0,1	0,1
Área superficial máxima por módulo (m^2)	n.e.	n.e.	<200	<100

(*) Con desarrollo exponencial en la pérdida de carga en estudios a nivel piloto
n.e.: no especificado.

Determinación del número de módulos de filtración

$$n = 0.5 * \sqrt[3]{A}$$

Donde:
- n: número total de unidades rectangulares operando en paralelo.
- A: área superficial total en m^2

Dimensionamiento de módulos de filtración

$$Lt_p = 2 * n [\pi A]^{0.5}$$

Donde:
- Lt_p: Longitud total de pared en m
- n: Número total de unidades de filtración
- A: Área superficial de cada unidad en m^2
- π: Número Pi = 3,1416

$$Lt_p = 2 * n * b + a * (n + 1)$$

- Lt_p: Longitud total de pared en m
- n: Número total de unidades de filtración
- b: Ancho de la unidad en m
- a: Longitud de pared común por unidad en m

$$a = \left(\frac{2 * n * A}{n + 1}\right)^{0,5} \qquad b = \left(\frac{(n + 1) * A}{2 * n}\right)^{0,5}$$

Donde:
- a Longitud de pared común por unidad en m
- A Área superficial total en m^2
- n Número de unidades
- b Ancho de la unidad en m

Selección del sistema de tratamiento

La selección del sistema de tratamiento se basa en la interrelación de los parámetros: turbiedad (UNT), color verdadero (UCV) y la concentración de Coliformes Termoresistentes (UFC/ 100 ml) presentes en las aguas crudas. **La Tabla 10.14** muestra los criterios de selección.

Tabla 10.14. Criterios para la selección del sistema de tratamiento del agua por Filtración en Múltiples Etapas FiME (1)

Coliformes Termorresistentes (UFC/100 ml)	**Turbiedad (UNT)**	< 10	10 – 20	20 – 50	50 – 70(2)
	Color Real (UC)	< 20	20 – 30	30 – 40	30 – 40(2)
< 500		Sin FGA **(B)**	$FGAC_{(0,6)}$ **(M)**	$FGAC_{(0,45)}$ **(A)**	$FGAS3_{(0,3)}$ **(A)**
500 – 10 000		$FGAC_{(0,6)}$ **(M)**	$FGAC_{(0,6)}$ **(M)**	$FGAC_{(0,45)}$ **(A)**	$FGAS3_{(0,3)}$ **(A)**
10 000 – 20 000 (2)		$FGAC_{(0,6)}$ **(A)**	$FGAC_{(0,45)}$ **(A)**	$FGAC_{(0,45)}$ **(A)**	$FGAS3_{(0,3)}$ **(A)**

FGA: Filtración Gruesa Ascendente

FGAC: Filtración Gruesa Ascendente en Capas

FGAS3· Filtración Gruesa Ascendente en Serie de 3 Etapas

(1) Todas las opciones de pretratamiento inclusive aquella sin FGA, incluye dentro de sus componentes de tratamiento, FGDi con velocidad de filtración 2,0 m/h y FLA con velocidad 0,15 m/h. (El Subíndice del pretratamiento indica la velocidad de filtración recomendada en m/h).

(2) Para valores superiores a 70 UNT; 20 000 UFC/100 ml o 40 UC, se recomienda realizar estudio en planta piloto.

Clasificación de fuentes según rango de calidad (concentraciones)

Baja **(B)**

Media **(M)**

Alta **(A)**

Fuente: Cinara (1999)

Filtración Rápida en Arena (FRA) (Tasa constante)

Tasa de filtración

La tasa de filtración debe obtenerse de laboratorio mediante ensayos en columna de filtración que permitan verificar las eficiencias remocionales de los parámetros que se desean tratar a partir de la variación de alturas de lecho, combinación de material granular, granulometrías y alturas de sobrenadante. Al disponer de columnas de ensayo o filtros piloto la tasa a adoptarse será:

$$V_f: 120 - 600\ m^3/m^2d$$

De no ser posible acceder a ensayos de columna de filtración o filtros piloto, las tasas máximas de filtración serán:

Para filtro con medio simple (arena): 180 m^3/m^2d
Para filtro con medio dual (arena y antracita): 360 m^3/m^2d

Área de filtración requerida

$$A_T = \frac{Q}{V_f}$$

Donde: A_T Área total de filtración requerida en m^2
Q Caudal de diseño en m^3/h
V_f Tasa de filtración en m^3/m^2 h

Número de unidades

$$N = \sqrt{\frac{A_T}{3}}$$

Donde: N Número de filtros necesarios al final del periodo de diseño
A_T Área total de filtración requerida en m^2

Capa Soporte

El tipo y tamaño de lecho de grava depende del sistema de drenaje que se use. Para drenajes con orificios menores a 1 mm (boquillas) no se usa grava sino arena “torpedo” de 4 mm de diámetro. Para drenajes con orificios entre 1 – 5 mm (Leopold) se usan 20 - 30 cm de grava distribuidos de acuerdo a los valores mostrados en la **Tabla 10.15**.

Tabla 10.15. Espesores y diámetros de la grava soporte

Espesor de la capa (cm)	Espesor acumulado (cm)		Diámetro (pulgadas)
5	5		3/4 a 1/2
5	10		1/2 a1/4
5	15		1/4 a1/8
5	20		1/8 a Nº 10
5		25	1/8 a 1/4
5		30	1/4 a1/2

N° 10 corresponde al tamiz 10 U.S.

Medio filtrante

Corresponde al material granular (arena, antracita, granate, ilmenita, carbón magnetita u otros) que retienen los flóculos no sedimentables.

La arena para filtros rápidos estará compuesta de material silicio con dureza de 7 en las escala de Moh (1 al 10) y peso específico no menor a 2, libre de materia orgánica y no más de 1 % podrá ser material laminar o micáceo.

La solubilidad en ácido clorhídrico al 40% durante 24 horas debe ser menor al 5 % y la pérdida por ignición menor a 0,7% en peso.

La antracita debe tener una dureza de 2,7 ó mayor en la escala de Moh y su peso específico no menor a 1,40. El contenido de carbón libre no debe ser menor del 85 % en peso.

La solubilidad en ácido clorhídrico al 40% durante 24 horas debe ser menor al 5 % y no más del 2 % debe perderse en una solución al 1% de Na OH. El máximo porcentaje de partículas planas debe ser del 30% en peso.

Coeficiente de uniformidad (arena)

$$Cu = 1,5 \text{ a } 1,7$$

Altura del lecho y tamaño efectivo

La altura de lecho convencional de arena podrá ser (0,60 a 0,75 m), cuando el tamaño efectivo sea de 0,45 a 0,55 mm. La altura de lecho profundo podrá ser (0,9 a 1,8 m), cuando el tamaño efectivo sea de 0,90 a 1,20 mm.

Para lechos mixtos (arena – antracita); si la arena tiene tamaño efectivo de 0,45 a 0,55 mm, la altura de lecho será 0,20 a 0,40 m; si la antracita tiene tamaño efectivo de 0,90 a 1,40 mm, la altura de lecho será de 0,30 a 0,55 m

Granulometría

Se debe utilizar arenas finas cuando el pretratamiento es deficiente y es necesaria la remoción de turbiedad y bacterias.

Se debe utilizar arenas gruesas cuando el pretratamiento es deficiente, pudiendo optarse filtros de lecho profundo.

Se debe utilizar arena media cuando existan características intermedias

La **Tabla 10.16** muestra los porcentajes retenidos en los tamices para el preparado de arenas finas medias y gruesas.

Tabla 10.16. Arena para filtros de tasa constante

Abertura tamiz (mm)	Porcentaje arena retenida (%)		
	Fina	Media	Gruesa
0.30	97 - 100	99 - 100	100 - 100
0.42	75 - 94	94 - 98	99 - 96
0.69	27 - 69	61 - 86	69 - 70
0.84	3 - 29	16 - 51	29 - 32
0.17	0 - 6	1 - 16	7 - 0
T. E. (mm)	0.35 - 0.45	0.45 - 0.55	0.55 - 0.65

T.E. = Tamaño Efectivo

Se debe utilizar antracitas con tamaños efectivos entre 0,6 y 1,4 mm. Cuando se emplea como lecho único los tamaños efectivos serán de 0,6 a 0,8 mm. Cuando se emplea en los lechos múltiples los tamaños serán entre 0,8 y 1,4 mm.

Coeficiente de uniformidad (antracita)

$$Cu = 1,0 – 1,40$$

Pérdida de carga máxima en los filtros

En filtros sin controladores las pérdidas de carga no deben exceder los 2 m.

Altura de agua sobre el lecho (sobrenadante)

La altura de agua sobre el lecho debe ser mínima de 0,9 m y máxima de 1,60 m.

Lavado del filtro

Para la limpieza de los filtros se requiere de agua para el lavado en contracorriente (flujo ascendente), lo cual se consigue mediante una bomba, o un tanque elevado cuya cota sea suficiente para garantizar el lavado. El tiempo de lavado será de 3 a 15 minutos.

Tasa de lavado

Los valores de la tasa de lavado serán de 60 cm/ min (36 m/h) - 120 cm /min (72 m/h). En caso de filtros de flujo ascendente, la velocidad mínima de lavado debe ser de 80 cm /min y un tiempo de lavado de 15 min.

Expansión del lecho

El caudal de agua de lavado en contracorriente debe producir un porcentaje de expansión del lecho filtrante de 20 al 30 %.

Altura de los filtros

Está definida por la altura de seguridad (revancha), la altura de agua (sobrenadante), altura del lecho de arena, altura del lecho de grava y la altura del sistema de drenaje. La **Tabla 10.17** muestra los valores mínimo y máximo de las alturas consideradas.

Tabla 10.17. Alturas máximas y mínimas

Altura	Mínima (m)	Máxima (m)
Altura de seguridad	0,30	0,50
Altura de agua	0,90	1,60
Altura de arena	0,60** (0.90)***	0,75** (1,80)***
Altura de grava	0,20	0,45
Altura del sistema de drenaje*	0,70	0,80
Altura total	2,70 (3,0)***	4,10 (5,15)***

* Drenaje del tipo "V" invertida

** Para filtros de lecho convencional

( ) *** Para filtros de lecho profundo

Filtración Rápida en Arena (FRA) (tasa declinante)

Tasa de filtración

La tasa de diseño debe ser obtenida de pruebas de laboratorio o de filtros piloto. La **Tabla 10.18** proporciona las tasas de filtración según la calidad del agua que ingresa a las unidades y los tipos de lecho (único y doble).

Tabla 10.18. Tasas de filtración

Filtración rápida descendente con tasa declinante	Tasa de filtración (m^3/m^2-d)
De agua decantada en medio filtrante único de arena con espesor inferior a 0,8 m.	150 - 239 (med) 240 - 300 (max).
De agua floculada o prefloculada en medio filtrante único con espesor superior a 1,0 m y uso de polímero como auxiliar.	240 - 359 (med). 360 - 600 (max).
De agua decantada en medio filtrante doble, con espesor total inferior a 0,80 m.	240 - 359 (med) 360 - 600 (max).

Tasa de lavado

Cuando el lavado es sólo con agua:

Tasa de lavado sólo con agua: 0,7 – 1,0 m/min.
Tiempo de lavado: 6 a 9 min.

La velocidad de lavado se establece gradualmente, produciendo una expansión promedio de 25 a 30 %.

Cuando el lavado se efectúa con agua y aire:

Tasa de lavado con agua : 25 – 35 (m^3/h-m^2)
Tiempo de lavado: 3 a 5 min

Tasa de lavado con aire: 17 – 29 (m^3/h-m^2)
Tiempo de lavado: 2 a 5 min

Capa soporte.

La capa soporte debe tener la siguiente granulometría. Véase la **Tabla 10.19** donde se especifica la altura de cada capa y el diámetro efectivo.

Tabla 10.19. Granulometría de la capa soporte

Granulometría de la Capa Soporte	
Altura de cada capa (mm)	**Diámetro (mm)**
75	2,4 - 4,8
75	4,8 - 12,6
75	12,7 - 19,0
75	19,1 - 38,0
100	38,1 - 50,0

Capa filtrante

En éstos filtros se recomienda dos medios filtrantes, 60% de la altura ocupa el material de menor densidad (antracita o granate) y 40% del material de mayor densidad (arena).

Si la altura media de la capa filtrante es de 75 cm, corresponde a la antracita 45 cm y a la arena 30 cm. La **Tabla 10.20** muestra las características de los medios filtrantes.

Tabla 10.20. Valores admisibles en lechos filtrantes múltiples

Propiedades físicas	Antracita	Granate o Ilmenita	Arena
Densidad (gr/m^3)	1,40 - 1,6	3,80 - 4,90	3,80 - 4,90
Tamaño efectivo (mm)	0,80 - 1,40	0,15 - 0,20	0,15 - 0,20
Coeficiente de uniformidad	1,00 - 1,40	1,35 - 1,40	1,35 - 1,40

Altura de agua.

La altura mínima total del agua es 3,90 m para lograr la presión necesaria de lavado, y la altura mínima del vertedor de agua de lavado 1,30 m.

Lavado de los filtros.

Mediante una apertura y cierre adecuado de válvulas, el lavado de un filtro se debe realizar con el agua de los otros filtros.

Altura del filtro de tasa declinante

La altura total de los filtros se debe determinar en función a las alturas parciales del fondo falso, capa soporte, altura de lecho de arena (arena y antracita), altura de agua mínima y máxima y altura de seguridad. La **Tabla 10.21** muestra los valores de cada altura.

Tabla 10.21. Altura del filtro de tasa declinante.

Descripción	Altura (m)
Altura de fondo falso	0,50 - 0,50
Altura capa soporte (incluyendo viguetas)	0,50 - 0,50
Altura de arena	0,30 - 0,35
Altura de antracita	0,45 - 0,50
Altura mínima de agua (sobre el nivel de arena)	1,25 - 1,35
Altura máxima de agua (sobre el nivel mínimo)	1,60 - 1,70
Altura de seguridad	0,40 - 0,40
Altura total	**5,0 - 5,30**

Filtración de flujo ascendente descendente

Son unidades dobles para filtración de aguas, consiste en unidades conectadas en serie unas ascendentes y otras descendentes. El filtro ascendente con lechos profundos y gruesos sirve como método de pretratamiento para el filtro descendente.

Tasa de filtración

Los valores de las tasas aplicables a éstas unidades deben ser obtenidas de pruebas de laboratorio o de plantas piloto.

La **Tabla 10.22** proporciona valores referenciales de las tasas de filtración y lavado, para las unidades ascendente y descendente.

Tabla 10.22. Tasa de filtración y lavado.

Tasas	Filtro Ascendente	Filtro Descendente
Filtración ($m^3/h\text{-}m^2$)	12 - 16	5 - 10
Lavado ($m^3/h\text{-}m^2$)	4 - 18	36 - 48

Capa soporte

En el filtro ascendente se coloca como capa soporte grava con un tamaño efectivo de 0,35 mm y cuyo diámetro varía de 10 a 60 mm y una altura de 50 cm.

El filtro de flujo descendente puede tener la misma granulometría de la capa soporte de los filtros rápidos descendente de tasa constante.

Capa filtrante

Considerando las características del medio filtrante, para cada filtro se tendrán los valores mostrados en la **Tabla 10.23**.

Tabla 10.23. Características del medio filtrante

Características	Filtro ascendente	Filtro descendente
Espesor de la capa (m)	1,20 - 1,50	0,60 - 0,80
Tamaño efectivo (mm)	0,90 - 1,20	0,45 - 0,55
Tamaño mayor (mm)	2,0 -2,40	1,41
Tamaño menor (mm)	0,70	0,42
Coeficiente de uniformidad	≤ 1,8	≤ 1,6
Coeficiente de esfericidad	≥ 0,7	≥ 0,7

La capa filtrante en el filtro ascendente debe ser de arena gruesa, distribuida en tres capas, cada una de 40 a 50 cm.

Altura de agua

La altura de agua en el filtro ascendente sobre el nivel del lecho filtrante puede ser 0,90 m con una sobre elevación o revancha de 0,30 m.

La altura de agua en el filtro descendente puede ser de 1,65 m con una sobre elevación o revancha de 0,30 m.

Lavado de los filtros

El retrolavado de ambas unidades debe efectuarse simultáneamente, con agua de un tanque elevado situado a una cota tal que permita el lavado eficiente. Las tasas y tiempos de lavado referenciales son las de la filtración rápida.

Altura de filtros

La altura total de los filtros, se debe calcular en base a las alturas parciales del fondo falso, capa soporte, lecho filtrante, altura de agua y la sobre elevación. La **Tabla 10.24** muestra los valores característicos.

Tabla 10.24. Altura total de filtros

Filtros de flujo		
Altura de los filtros	**Ascendente (m)**	**Descendente (m)**
Altura de fondo falso	0,30	0,30
Altura de la capa soporte	0,50	0,40
Altura del lecho filtrante.	0,90	0,60
Altura de agua	0,90	1,30
Sobre elevación o revancha	0,30	0,30
Altura total	**2,90**	**2,90**

10.11.2 Transferencia de iones, mezcla rápida y floculación

Se debe llevar a cabo mediante los procesos de coagulación, precipitación química, intercambio iónico y adsorción. Los procesos asociados son la mezcla rápida y la floculación.

a) Coagulación

Se debe adicionar al agua una sustancia química que tiene propiedades coagulantes cuando se busque transferir sus iones a la sustancia que se desea remover neutralizando la carga eléctrica de los coloides, favoreciendo la formación de flóculos de un cierto tamaño y peso. La **Tabla 10.25** muestra las características de los compuestos coagulantes, su presentación y concentración comercial.

i) Sustancias Coagulantes

Se debe utilizar el coagulante más apropiado para el tratamiento. Debe presentar las mayores ventajas en calidad, costo y facilidad de adquisición, almacenamiento y manejo. La Norma **NB 650 "PRODUCTOS QUIMICOS PARA USO INDUSTRIAL; SULFATO DE ALUMINIO"** especifica las características que debe reunir ésta sustancia química para su utilización en el tratamiento de aguas.

Tabla 10.25. Compuestos coagulantes de uso en tratamiento de aguas de consumo humano

Compuesto	Fórmula	Presentación	Concentración comercial
Cloruro Férrico	$FeCl_3$ (anhidro solución) $FeCl_3$. 6 H_2O (cristal)	Solución Cristales Granular	35 – 45 % 60 % 96 – 97 %
Sulfato de Aluminio	$Al_2(SO_4)_3$. 24 H_2O	Granular Polvo Líquido	9 % aluminio o 17 % como Al_2O_3 4,23 % de Al soluble en agua u 8 % como Al_2O_3
Sulfato Férrico	$Fe_2(SO_4)_3$. 3 H_2O (Ferri -clear) $Fe_2(SO_4)_3$ (Ferri –floc)	Granular	68 % $Fe_2(SO_4)_3$ 18.5% Fe 76 % $Fe_2(SO_4)_3$ 21 % Fe
Sulfato Ferroso	Fe SO_4	Granular Cristales Polvo	55% Fe SO_4 20% Fe

ii) Sustancias coadyuvantes de la coagulación

Se debe utilizar el coadyuvante de coagulación más apropiado para el tratamiento. Debe presentar las mayores ventajas en calidad, costo y facilidad de adquisición, almacenamiento y manejo. **La Norma NB 647 "PRODUCTOS QUIMICOS PARA USO INDUSTRIAL; CAL VIVA Y CAL HIDRATADA"** especifica las características que debe reunir esta sustancia química para su utilización en el tratamiento de aguas. La **Tabla 10.26** muestra las características de los compuestos coadyuvantes de coagulación, su presentación y concentración comercial.

Tabla 10.26. Coadyuvantes de coagulación utilizados para el tratamiento de aguas

Compuesto	Fórmula	Presentación	Concentración comercial
Hidróxido de Calcio	$Ca(OH)_2$	Polvo	62 % CaO
Cal dolomítica	CaO	Granular Polvo	80 % CaO
Hidróxido de Sodio	Na OH	Polvo	98.9 % Na OH 24,7 % Na_2 O

iii) Relación entre el tipo de coagulación y la dispersión de los coagulantes

Existen dos tipos de coagulación: la de adsorción – neutralización y la de barrido o por incorporación. La primera ocurre en 0,01 a 1,0 segundos, la segunda cuando hay precipitación masiva de hidróxido de aluminio y se completa en 1 a 7 segundos.

A tiempo de realizar pruebas de tratabilidad, se debe determinar el tipo de coagulación que se lleve a cabo en la planta y se debe reportar sus características.

iv) Gradientes y tiempos óptimos para mezcla rápida por coagulación

Para mezcla rápida por coagulación de barrido pueden seleccionarse gradientes de 400 s^{-1} a 800 s^{-1} y tiempos de 30 a 180 segundos y con coagulación por adsorción – desestabilización, gradientes entre 1 000 y 3 000 s^{-1} con tiempos de 1 a 5 segundos (los mayores tiempos para gradientes más bajos).

v) Mezcladores de flujo de pistón

Los más difundidos por su simple operación y mantenimiento son: Canaleta Parshall, resalto hidráulico y los vertederos.

v-1) Canaleta Parshall

Consiste en un segmento de canal con cambio rápido de pendientes y constricción en el punto llamado garganta.

La canaleta Parshall se adecua a las plantas medianas a grandes (Q>= 500 l/s). En plantas medianas a pequeñas (100 l/s <Q < 500 l/s), se recomienda el vertedero rectangular. En las plantas pequeñas (Q< 50 l/s) se utilizará un vertedero triangular como unidad de mezcla, preferiblemente para caudales menores a 30 l/s.

El número de Froude debe estar entre 1,7 a 2,5 o 4,5 y 9,0. Debe evitarse números entre 2,5 y 4,5, producen resaltos inestables los cuales no permanecen en su posición dificultando la aplicación de coagulantes.

v-2) Mezclador de resalto hidráulico

Consiste en un canal rectangular, con un vertedero también rectangular sin contracciones en su sección. La lámina vertiente, después de pasar el vertedero toca el fondo del canal en la sección 1, a una distancia Lm del vertedero. Cuando la lámina de agua alcanza el fondo, se subdivide en una corriente principal que se mueve hacia el frente y en una secundaria que retorna.

Estas unidades se adecúan a las calidades de agua, en las que la mayor parte del tiempo se esté coagulando mediante mecanismo de adsorción. Sirven como medidores y unidades de mezcla rápida.

Gradientes de velocidad: 1 000 – 2 000 s^{-1}
Tiempo de retención: < 1 segundo
Número de Froude: 4,5 – 9,0

v-3) Mezcladores rápidos mecánicos.

Un mezclador rápido mecánico está compuesto de un tanque diseñado para un periodo de retención y un sistema de agitación mecánico. La sección del tanque podrá ser circular o cuadrada provista de baffles laterales que eviten la formación del vórtice.

Los valores recomendados para el dimensionamiento son los siguientes:

Tiempo de retención: 10 – 90 s
Nº de Reynolds: 100 000
Velocidad tangencial: 0,6 m/s
Longitud de las paletas: 1/3 del ancho o diámetro del tanque

vi) Floculación

La floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; es el proceso mediante el cual se aplica una mezcla de bajo gradiente para incrementar las colisiones interparticulares sin romper los agregados formados.

Similar a la coagulación, la floculación está influenciada por las fuerzas químicas y físicas (carga eléctrica de las partículas, capacidad de intercambio, tamaño y concentración del flóculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de electrolitos).

vi-1) Floculadores hidráulicos

vi-1.1) Floculador de flujo horizontal

Consiste en un tanque de concreto dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto, madera u otro material adecuado, dispuesto de forma tal que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques. El floculador de flujo horizontal es recomendable para caudales menores a 100 l/s.

Las velocidades del flujo no deben ser menores a 0,1 m/s ni mayores a 0,60 m/s para evitar la sedimentación y la ruptura del floc correspondientemente.

Cada uno de los compartimientos (mínimo 3) se diseñarán para diferentes gradientes mostrados en la **Tabla 10.27** y tiempos de retención.

Tabla 10.27. Rango de gradientes hidráulicos para cada compartimiento o cámara

Compartimiento o cámara	Gradiente (s^{-1})
1	50 – 100
2	20 – 50
3	10 – 40

El tiempo total de floculación varía de 15 a 30 minutos (IRC 1981). El tiempo para cada compartimiento o cámara se determinará a partir de la ecuación del floculador.

El número de baffles (chicanas) necesarios para alcanzar el gradiente de velocidad de diseño se calculará por la relación:

$$n = \{[(2\mu T / \rho (1.44 + f)] * [HLG/Q]^2\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde:
- n Número de baffles en la cámara o compartimiento
- H Profundidad de agua en el tanque en m
- L Largo del tanque en m
- G Gradiente de velocidad en s^{-1}
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- T Tiempo de floculación en s
- μ Viscosidad dinámica en kg /m s (Véase **Tabla 10.28**)
- ρ Densidad del agua en kg/m^3
- f Coeficiente de fricción de los baffles (madera = 0,3)

Tabla 10.28. Variación entre densidad del agua, la viscosidad y la temperatura

Temperatura ºC	0	5	10	15	20	25	30
Densidad ρ en kg/m^3	999,9	1 000	999,7	999,1	998,2	997,1	995,7
Viscosidad dinámica en kg/ms	0,00179	0,00152	0,00131	0,00114	0,00101	0,00089	0,00080

vi-1.2) Floculador de flujo vertical.

Consiste en un tanque de concreto dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto madera u otro material adecuado, dispuesto deforma tal que el agua fluya hacia arriba y hacia abajo, por encima y por debajo de los tabiques, baffles o pantallas.

El floculador de flujo vertical es recomendable para caudales mayores a 100 l/s.

Los gradientes de velocidad en cada uno de los compartimientos son los señalados para floculadores de flujo horizontal (Véase **Tabla 10.27**), tomando en cuenta que las velocidades en las cámaras no deben se menores a 0,1 m/s ni mayores a 0,60 m/s.

El tiempo total de floculación varía de 15 a 30 minutos (IRC 1981). El tiempo para cada compartimiento se determinará a partir de la ecuación del floculador.

El número de baffles necesarios para alcanzar el gradiente de velocidad de diseño se calculará por la relación:

$$n = \{[(2\mu T / \rho (1.44 + f)] * [WLG/Q]^2\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

	n	Número de baffles en la cámara
	L	Largo del tanque en m
	G	Gradiente de velocidad en s^{-1}
	Q	Caudal de diseño en m^3/s
	T	Tiempo de floculación en s
	μ	Viscosidad dinámica en kg m/s (Véase **Tabla 10.28**)
	ρ	Densidad del agua en kg/m^3
	f	Coeficiente de fricción de los baffles (madera = 0,3)
	W	Ancho del tanque en m

vi-1.3) Floculadores mecánicos

Unidades a las cuales se introduce potencia al agua para asegurar la mezcla lenta. El más usado es el de paletas, sean estos de eje horizontal o vertical. También existen impulsores de turbina y de flujo axial. Como el grado de mezcla es variable, según la calidad del agua, es necesario que el equipo sea de velocidad variable.

Los valores recomendados para el dimensionamiento son los siguientes:

Gradiente de velocidad: 5 - 100 s^{-1}

Número de Camp (GT): 30 000 – 150 000

Tiempo de Floculación: 20 – 60 minutos

Velocidad de las paletas: 0,03 – 0,9 m/s

Área de las paletas: 10 – 25 % del área de la sección transversal

b) Precipitación química; Se debe adicionar al agua sustancias químicas solubles cuando sea necesario que los iones adicionados reaccionen con los de la sustancia que se desea remover, formando un precipitado.

c) Intercambio iónico; Se debe llevar a cabo por el intercambio entre los iones de la sustancia a remover y un medio sólido con gran superficie específica a través del cual se hace pasar el flujo de agua. Una vez saturado el adsorbente se regenerará a través de procedimientos específicos de acuerdo a sus propiedades físico-químicas.

d) Adsorción; Se debe aplicar para la remoción de iones y moléculas presentes en la solución, concentrándolos en la superficie de un medio adsorbente mediante la acción de fuerzas interfaciales. Se debe aplicar para la remoción de olores y sabores, mediante la adición de carbón activado.

10.11.3 Transferencia de gases

Proceso mediante el cual las moléculas del gas serán intercambiadas entre el agua y un gas a una interfase gas – líquido a objeto de cambiar la concentración del gas que este presente en el agua por un proceso de adsorción o desorción.

a) Aireación; Corresponde al proceso de transferencia de una fase gaseosa (aire) a una líquida (agua) en contacto. Se debe incorporar oxígeno del aire atmosférico para la remoción de sabor y olor producido por sustancias volátiles presentes en el agua, remoción del dióxido de carbono para ajustar o lograr el equilibrio carbónico respecto al calcio y remoción de otros gases indeseables en el agua de consumo. También se debe aplicar para la oxidación de metales presentes en el agua cuya concentración esté por encima del valor máximo aceptable en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos).

La transferencia de gases inducida servirá para:

Adicionar oxígeno al agua subterránea para oxidar el hierro disuelto y manganeso, para facilitar su remoción.

Adición del dióxido de carbono por medio de generadores para aguas ablandadas por el proceso cal – soda, que generalmente están sobresaturadas con carbonato de calcio e hidróxido de magnesio y requieren su estabilización.

La adición de ozono o cloro para el proceso de desinfección de las aguas o para la eliminación del sabor y olor.

Remoción del dióxido de carbono para ajustar o lograr el equilibrio carbónico respecto al calcio.

Remoción de sustancias orgánicas volátiles, productoras de olores y sabores.

i) Sistemas de aireación

Se recomiendan los siguientes tipos de aireadores:

Aireadores de bandejas
Aireadores de cascada

i-1) Aireadores de bandejas.

Consisten en un sistema de bandejas con perforaciones en su parte inferior, colocadas en forma sucesiva con intervalos de 30 a 50 cm. El ingreso de agua es por la parte superior en forma distribuida (Tubería perforada), de donde cae a la primera bandeja y así sucesivamente Los orificios serán circulares con diámetros de 5 a 12 mm, con una separación de 2.5 cm.

Parámetros de diseño

Para el diseño de aireadores de bandeja se podrán adoptar los criterios indicados en la **Tabla 10.29.**

Tabla 10.29. Parámetros de diseño - aireadores de bandejas

Parámetro	Valor	Unidad
Carga hidráulica C_H	550 – 1 800 (0,006 – 0,02)	m/d (m^3/m^2s)
Caudal/ área total de bandejas	500 – 1 600	m/d
Numero de bandejas	4 - 6	
Altura total del aireador	1,2 – 3,0	m
Lecho de contacto: Espesor Coke o piedra, diámetro	 15 – 30 4 -15	 cm cm
Orificios de distribución: diámetro separación	 5 – 12 2,5	 mm cm
Profundidad de agua en la bandeja	15	cm
Separación entre bandejas	30 - 75	cm

Adaptado de Romero J (1999)

Dimensionamiento

La superficie de cada bandeja se calculará mediante:

$$S = \frac{Q}{C_H}$$

Donde: S Área de la bandeja en m^2
Q Caudal de diseño en m^3/s
C_H Carga hidráulica en m^3/m^2 s

i-2) Aireadores de cascada

Una altura disponible es subdividida en varias caídas para incrementar la cantidad de oxígeno al agua que atraviese ésta estructura o por el contrario disminuir el contenido de los no deseables.

Parámetros de diseño

La **Tabla 10.30** indica los parámetros de diseño aplicables a aireadores de cascada.

Tabla 10.30. Parámetros de diseño – aireadores de cascada

Parámetro	Valor	Unidad
Carga hidráulica C_H	1 200 – 6 200 (0,01 – 0,03)	m^3/m d (m^3/m s)
Altura de escalón	15 - 30	cm
Longitud del escalón	30 - 60	cm
Altura de la cascada	1,2 – 5,0	m

Adaptado de Romero J (1999)

Dimensionamiento

La longitud del aireador de cascada se calculará a través de la relación:

$$L = \frac{Q}{C_L}$$

Donde: L Longitud total del aireador de cascadas en m
Q Caudal de diseño en m^3/s
C_L Carga Lineal del aireador en $m^3/m\ s$

(2) El contenido de oxigeno absorbido en cada peldaño se aproxima a través de la siguiente ecuación:

$$C_e = C_o + K\ (C_s - C_o)$$

Donde: C_e Concentración de oxigeno al final de la caída en mg/l
C_s Concentración de saturación del oxígeno en mg/l
C_o Concentración inicial de oxígeno en el agua en mg/l
K Coeficiente de eficiencia de un escalón (10% al 30% del valor de concentración de saturación, para una altura de 0,30 m)

b) Recarbonatación; se debe aplicar el dióxido de carbono para bajar el pH del agua y lograr su equilibrio carbónico, después de aplicarse tratamientos que alcalinicen las aguas.

c) Desinfección; se debe llevar a cabo a través de la aplicación de cloro gaseoso o sales de cloro (hipocloritos) al agua a objeto de inviabilizar microorganismos perjudiciales a la salud humana.

Se debe elegir el desinfectante más apropiado para el tratamiento. Debe presentar las mayores ventajas en calidad, costo y facilidad de adquisición, almacenamiento y manejo. **La Norma NB 648 "PRODUCTOS QUIMICOS PARA USO INDUSTRIAL; CLORO LIQUIDO"** especifica las características que debe reunir esta sustancia química para su utilización en el tratamiento de aguas.

La dosificación de desinfectantes (dosis) debe determinarse en laboratorio a través de la Prueba de Demanda de Cloro. Debe tenerse en cuenta que la demanda de cloro de cualquier agua, varia con la cantidad de cloro que se aplique, con el tiempo de contacto del que se dispone en la planta de tratamiento con el pH y con la temperatura.

Se podrán utilizar otros desinfectantes toda vez que el proyectista demuestre su necesidad técnico – económica dentro del tratamiento. La **Tabla 10.31** muestra las características de los compuestos desinfectantes, su presentación y concentración comercial.

Tabla 10.31. Compuestos desinfectantes utilizados para el tratamiento de aguas

Compuesto	Fórmula	Presentación	Concentración comercial
Cloro	Cl_2	Gas líquido bajo presión	99,5%
Hipoclorito de Calcio	$Ca(OCl)_2 . 4 H_2O$	Granular Polvo	65 % de cloro disponible en peso (mínimo)
Hipoclorito de Sodio	Na OCl	Solución	10 % de cloro disponible en peso (mínimo)

10.11.4 Transferencia molecular

Proceso de purificación natural del agua transformando sustancias complejas en sustancias simples incluyendo los gases de descomposición. Esta transferencia se debe llevar a cabo en la filtración y aireación principalmente.

10.11.5 Procesos complementarios

Corresponde a los procesos específicos que dependen de las características finales que se quiera dar al agua.

a) Estabilización de solutos; se debe llevar a cabo el proceso cuando se requiera transformar un soluto objetable en un otro inocuo sin llegar a su remoción, principalmente anhídrido carbónico a bicarbonato, ácido sulfhídrico a sulfatos.

b) Desalinización; se debe aplicar cuando sea necesaria la remoción de elementos y sales excedentes del agua transformando las aguas salobres en dulces.

c) Fluoración y defluoración; se debe llevar a cabo a través de la adición o remoción del fluor de las aguas de consumo. Se debe realizar la adición, como elemento profiláctico dental en niños menores a 5 años y la remoción, en casos en los que la concentración natural de fluor en forma de fluoruros exceda los valores permitidos por la Norma. (0,6 a 1,5 mg/l).

d) Cloración y decloración; se debe llevar a cabo a través de la adición o remoción del cloro de las aguas de consumo, en forma de gas o sales (hipocloritos). Se debe realizar la adición para llevar a cabo la desinfección; la remoción, en casos en los que la concentración de cloro utilizado para llevar a cabo procesos de oxidación sea excesiva y produzca olor y sabor al agua.

10.12 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO

La clasificación está basada en el tipo de procesos que comprende y por la clase de tecnología empleada en su concepción.

10.12.1 Por el tipo de procesos que comprende

Se clasifican en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta.

a) Plantas de Filtración Rápida

Comprenden los procesos de: coagulación, sedimentación y filtración rápida descendente y desinfección. Una alternativa de la filtración rápida es la Filtración Directa, constituida solamente por los procesos de coagulación y filtración. Podrá ser Filtración Directa Descendente (F.D.D.), Filtración Directa Ascendente (F.D.A.) ó una combinación de ambas, denominada doble filtración; Filtración Directa Ascendente – Descendente (F.D.A.D.).

En cada caso se requiere un estudio de la calidad de la fuente de agua para determinar su aplicabilidad.

b) Plantas de Filtración Lenta

Comprenden procesos cuyos mecanismos de remoción son solamente físicos y biológicos. Los procesos que se llevan a cabo son: desarenado, presedimentación, sedimentación, prefiltración en grava, filtración lenta y desinfección de seguridad.

10.12.2 Por la tecnología empleada

Se clasifican en sistemas convencionales, de tecnología apropiada y patentados

a) Sistema convencional

Comprende las plantas de tratamiento donde se llevan a cabo los procesos de: mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Utilizan el potencial hidráulico para su funcionamiento y su mecanización es mínima.

b) Sistemas de Tecnología Apropiada

Deben satisfacer el concepto de multibarrera o de múltiples etapas y, llevan a cabo el tratamiento de las aguas sin la adición de productos químicos para la coagulación. Principalmente está conformada por unidades de filtración. Comprende los procesos de desarenación, presedimentación, sedimentación, filtración gruesa dinámica, filtración gruesa de flujo horizontal, filtración gruesa de flujo vertical, filtración lenta y desinfección, como opciones, las cuales, el proyectista elegirá de acuerdo a las características de la calidad del agua, ámbitos del proyecto y al concepto de sostenibilidad en el tiempo.

Los sistemas de tratamiento con tecnología apropiada, son todos aquellos que cumplen una función determinada en la remoción de algún parámetro físico-químico y/o bacteriológico, a bajo costo.

Se deben considerar como alternativas tecnológicas apropiadas las siguientes: sistema de filtración en medios granulares, porosos y sintéticos de uso doméstico, destiladores solares para la remoción de contenidos salinos en aguas de consumo, sistemas de desinfección solar, sistemas de desinfección con producción de desinfectantes in situ y el uso y aplicación de desinfectantes de uso comercial, disponibles en el mercado local.

c) Sistemas patentados

Se deben considerar como sistemas patentados aquellos que se caracterizan por su equipamiento, grado de complejidad, grado de mecanización y automatización mayor al de un sistema convencional.

Se deben establecer los requerimientos de personal calificado para su construcción, operación y mantenimiento, los programas específicos de mantenimiento preventivo, existencia de repuestos y suministro constante de energía eléctrica. Su aplicación debe estar justificada con estudios de factibilidad técnico – económico social y de sostenibilidad.

10.13 INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURA DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA

En el proyecto de una planta potabilizadora de agua se deben diseñar las instalaciones e infraestructura necesaria para llevar a cabo el tratamiento y el control del mismo.

10.13.1 Casa de química

Corresponde al espacio físico en la planta donde se realizan actividades técnicas y administrativas propias de una instalación. Debe reunir condiciones sanitarias, hidráulicas y de seguridad.

La disposición y tamaño de cada uno de los ambientes que la componen deben estar acorde a los requerimientos técnicos del proceso de tratamiento necesario y con la capacidad de la planta.

Deben preverse áreas para: depósitos de sustancias químicas, galerías de tuberías, galerías de operación y control, salas de dosificación, salas de bombas, laboratorios, vestuarios, ambientes sanitarios, áreas de circulación y acceso, facilidades para el manejo y almacenamiento de sustancias químicas, talleres de reparación y mantenimiento, depósitos para herramientas y útiles de limpieza áreas para equipos de regulación y alimentación eléctrica y áreas administrativas, adecuadas a la capacidad de la planta.

La ubicación de la Casa de Química debe estar lo más próxima al punto de aplicación de las sustancias químicas, a fin de realizar un control eficiente y evitar el transporte a través de largos conductos.

10.13.2 Laboratorios

En toda planta potabilizadora de agua debe proyectarse instalaciones adecuadas para el funcionamiento de laboratorios de control operacional. Se debe disponer de equipo, insumos y reactivos para realizar determinaciones físico – químicas y bacteriológicas con la instrumentación adecuada al tamaño y características de la planta. El proyectista o el responsable técnico de la planta, en instalaciones nuevas o en funcionamiento, según corresponda, será quien determine los parámetros a controlar, según el requerimiento que establezca la Autoridad Competente.

10.13.3 Depósitos para Sustancias Químicas

Las plantas que requieran de sustancias químicas, deben contar con depósitos de reactivos ubicados en ambientes secos y de fácil circulación. Los depósitos deben diseñarse para tener capacidad suficiente para almacenar las sustancias químicas para un periodo de reabastecimiento seguro.

Cada reactivo químico se debe almacenar en forma separada, en ambientes ventilados y protegidos ante agentes naturales o malintencionados, como medida de seguridad.

La localización y accesibilidad a los depósitos, deben diseñarse considerando evitar daños a terceros al transportar y manejar los productos químicos.

Las características particulares de las sustancias químicas empleadas en plantas y los métodos para determinar su calidad de los insumos en las plantas están dados en la **NB 647** (Productos Químicos para Uso Industrial; Cal Viva y Cal Hidratada), **NB 648** (Productos Químicos para Uso Industrial; Cloro Liquido), **NB 649** (Productos Químicos para Uso Industrial; Hipocloritos Utilizados en el Tratamiento de Aguas) y **NB 650** (Productos Químicos para Uso Industrial; Sulfato de Aluminio).

En ningún caso está permitido el uso de sustancias peligrosas como los ácidos fuertes para regulación del pH.

Otros productos químicos tales como carbón activado, coadyuvantes de coagulación, polímeros, deben ser especificados en detalle en el proyecto, mencionando su origen y exigiéndose su certificado de calidad para el tratamiento de aguas destinadas al consumo humano.

10.13.4 Depósitos para otros insumos

Corresponde a los depósitos necesarios para almacenar material granular para reposición en las unidades de filtración. Asimismo y de acuerdo a la concepción tecnológica del proyecto, podrán almacenarse materiales como la antracita, granate u otros que no sean reactivos con el agua o el medio ambiente.

Otros materiales necesarios en planta serán los de construcción, los cuales se aprovisionarán contra la elaboración de un proyecto específico de ampliación, mejoramiento y/o reparación de la infraestructura existente.

10.14 RESIDUOS DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA

Los residuos de las plantas de tratamiento de agua corresponden a los residuos sólidos, líquidos y gaseosos y no se deben manejar independientemente al tratamiento de las aguas.

El proyectista deberá considerar la infraestructura y equipamiento necesario para el almacenamiento, tratamiento, transporte y/o disposición final de los residuos producidos durante el tratamiento. En los proyectos de diseño, ampliación y mejoramiento de las plantas se deben manejar estos componentes de forma integral.

La calidad, cantidad y características de los residuos sólidos, líquidos y gaseosos de las plantas, están relacionadas con la calidad y cantidad de las aguas y los insumos químicos que se apliquen en el proceso de tratamiento principal.

En todos los casos, se deben caracterizar y cuantificar los residuos para establecer el tratamiento y disposición final adecuados.

El proyectista debe considerar los siguientes tipos de residuos a momento de diseñar las plantas potabilizadoras:

a) Residuos sólidos (Lodos)

Son productos sólidos con alto contenido de humedad (pastosos - lodos) emanados principalmente de los procesos de cribado, desarenado, filtración y/o sedimentación. Después de su tratamiento o estabilización, la disposición final se realizará de la forma más segura ambientalmente.

b) Residuos líquidos

Corresponden a los lixiviados provenientes de la deshidratación de los lodos, aguas de lavado y limpieza de las unidades de filtración y las aguas de lavado de otras unidades de tratamiento (floculadores, sedimentadores), del lavado tanques de almacenamiento, los cuales deben ser almacenados, reciclados, acondicionados y tratados previo a su disposición final.

c) Residuos gaseosos

Corresponden a los gases emanados a la atmósfera o a los ambientes de la planta por efecto de los procesos de aireación (dióxido de carbono, amoniaco, gases disueltos en el agua, cloro u ozono) y otros que contenga el agua en forma natural o por la adición que se le proporcione durante el tratamiento.

CAPÍTULO 11 - DESINFECCIÓN Y FLUORACIÓN DE AGUAS

11.1 DEFINICIÓN DE DESINFECCIÓN

La desinfección de las aguas es un proceso que permite la inviabilización de bacterias, virus, virus entéricos humanos, protozoos, helmintos (tremátodos, céstodos y nemátodos) entre otros, que pueden estar presentes en las aguas de consumo humano.

11.2 FORMAS DE DESINFECCIÓN

11.2.1 Formas físicas

a) Sedimentación natural

Se puede aplicar la sedimentación natural cuando sea necesaria la decantación de material fino como limo y arcillas y, se requiera la remoción de esporulados y huevos de helmintos.

El decaimiento de substrato y las condiciones adversas tales como pH y temperatura originarán la mortalidad de los microorganismos.

b) Sedimentación con ayuda de coagulantes

Podrán aplicarse los procesos de mezcla, coagulación y sedimentación ya que los mismos eliminan con apreciable grado de eficiencia, la mayoría de las bacterias, protozoarios y virus que se encuentran en el agua.

c) Filtración lenta

Se debe aplicar a través de medios porosos, los cuales son capaces de retener materia en suspensión. Los procesos físico – químico – biológicos que se producen el los filtros lentos permiten la remoción de microorganismos.

d) El calor

Al someter el agua a temperatura de ebullición (2 a 5 minutos) se promoverá el proceso de desinfección.

e) Radiación ultravioleta

Se podrá utilizar la luz solar ya que la misma se constituye en un desinfectante natural al disponer de rayos ultravioleta que atraviesan la atmósfera. Los rayos ultravioleta podrán producirse mediante lámparas que se encuentran en contacto con el agua en tiempos de exposición variables de acuerdo a la calidad del agua.

f) Radiaciones Gamma

Se aplicará este proceso cuando se requiera que se produzca la oxidación de compuestos químicos (fenoles, detergentes y plaguicidas). Los sólidos suspendidos se adhieren con mayor facilidad, facilitando su eliminación. Este proceso elimina bacterias, protozoarios y virus sin dejar radiación residual.

11.2.2 Formas químicas

a) Uso de Cloro

Se podrá introducir cloro al agua para desinfectarla y contribuir a mejorar la coagulación en aguas que contienen complejos coloreados y hierro.

El cloro inviabiliza a los microorganismos que causan enfermedades a temperatura ambiente y en tiempo corto (menor o igual a 30 minutos).

Se debe promover la aplicación del cloro dado su bajo costo y la fácil determinación de su concentración en el agua, a partir de métodos colorimétricos y titrimétricos.

El cloro tiene efecto residual en el agua, protegiendo la misma de futuras contaminaciones.

La cloración debe realizarse a pH bajo, ya que la eficiencia es mayor por la mayor formación de ácido Hipocloroso complementariamente a la formación de ión Hipoclorito.

No debe aplicarse cloro en concentraciones mayores a 3 mg/l, pues produce sabor y olor medicinal que provoca quejas en los usuarios. Concentraciones por encima de 3 mg/l deben ser justificadas por el personal técnico encargado.

Se debe evitar la cloración en presencia de materia orgánica, evitando así la formación de los Trihalometanos, perjudiciales para la salud cuando se encuentran en concentraciones mayores a los 100 microgramos por litro como Trihalometanos (THMs) totales. Asimismo la formación de cloroformo, cuando las concentraciones son mayores a 200 microgramos por litro.

b) Uso de Yodo

El Yodo es un halógeno germicida de gran penetración en la desinfección de las aguas y cuyo efecto residual se conserva más tiempo que el de cloro. No forma yodaminas en presencia de amoniaco y no reacciona con los fenoles.

No debe aplicarse yodo en exceso pues a concentraciones mayores a 1 mg/l produce sabor medicinal.

Se debe aplicar en concentraciones inferiores o iguales a 0.5 mg/l, las cuales son aceptables por los consumidores. La dosis de 0.5 mg/l produce la destrucción del 99.99 % de E. Coli en un minuto, de virus poliomielíticos Tipo 1 en 10 minutos y de quistes de amebas en 100 minutos.

c) Uso de Bromo

Se le confiere las mismas propiedades bactericidas que el cloro y el yodo pero con menor eficacia por lo que su uso se debe restringir a la desinfección de piscinas de natación.

La dosis mínima a aplicar debe ser 0,4 mg/l. Esta dosis a cualquier pH del agua, no proporcionará olor ni sabor al agua ni provocará irritación a las mucosas.

d) Uso de plata ionizada

Produce la desinfección por un proceso oligodinámico (“fuerza de cantidades diminutas”) y para ello es necesario que la plata se encuentre en forma iónica. Se deben utilizar concentraciones de 0.15 mg/l.

Se utiliza en filtros de agua domésticos de cerámica porosa, a través de revestimientos que reciben los elementos filtrantes a momento de ser fabricados.

e) Uso del Ozono

Desinfectante de alta eficiencia por su alto poder oxidante. Se aplicará cuando se requiera eliminar olor y color de las aguas. La eficiencia microbicida es alta, alcanzándose la destrucción de bacterias en el orden de segundos (2 segundos para mezcladores en línea). Las dosis de ozono variará según la calidad de las aguas: Aguas subterráneas con baja turbiedad y contenido mineral, 0,25 a 0,50 mg/l; aguas superficiales de buena calidad bacteriológica después de la filtración, 2 a 3 mg/l y para aguas superficiales contaminadas, el ozono aplicado después de la filtración, 2,5 a 5 mg/l.

Se debe tomar en cuenta la baja solubilidad del ozono, la cual no permite que el ozono residual pase al sistema de distribución en cantidad que de garantía contra una posible contaminación de redes de agua.

11.3 CLORACIÓN

Consiste en la adición de cloro en forma de cloro gas, aplicable a sistemas de abastecimiento grandes (urbanos), de sales de cloro, hipocloritos de calcio y soluciones de hipoclorito de sodio, aplicables a pequeños sistemas. Las características y especificaciones que deben cumplir cada una de estas sustancias se encuentran referenciadas en la NB 648 – 95, NB 649 – 95.

Se debe adoptar como método de desinfección para sistemas públicos de aprovisionamiento de aguas para consumo y uso humano, en consideración a que presenta residual que mantiene desinfectada la infraestructura de almacenamiento y transporte del agua.

11.3.1 Formas de Aplicación

a) El cloro gaseoso se aplicará al agua a través de un proceso de inyección, siendo necesario disponer de los dispositivos que permitan inyectar y dosificar el gas en forma segura.

Se debe aplicar el gas cloro para la desinfección de las aguas a través de sistemas que estén ubicados en áreas ventiladas y protegidas de choques eléctricos.

Debe disponerse de seguridad y protección del personal operador contra posibles fugas, disponiendo de elementos de primeros auxilios.

b) La aplicación de las sales y soluciones de cloro se realizará a través de dosificadores de altura constante cuyo error de dosificación no sobrepase el 10 %. La dosificación se realizará en las zonas de alta turbulencia (salida de los filtros o ingreso a los tanques de almacenamiento), de manera que se garantice la mezcla del desinfectante con el agua.

c) En la aplicación de gas cloro, sales o soluciones cloradas para la desinfección de las aguas se debe prever un tanque de contacto, que tenga un tiempo mínimo de retención de 30 minutos (tiempo de contacto necesario para la inactivación de los microorganismos).

11.3.2. Dosificación

La cantidad de cloro a añadirse al agua debe ser determinada en laboratorio a través de la prueba “cloración al punto de quiebre”, realizada sobre un juego de 6 jarras provistas de diferentes concentraciones y se determinará la concentración residual después de un tiempo de contacto de 30 minutos, tomándose la precaución de tener las jarras fuera del alcance de la luz.

Cuando no se dispone de facilidades para realizar la prueba al punto de quiebre, se podrá adoptar una dosis base de 1 mg/l y determinar el cloro residual libre que deberá ser como mínimo de 0.2 mg/l en el punto mas alejado de la red de abastecimiento, se regulará la dosis a través de pruebas de campo, siendo necesario disponer de un detector de concentraciones de cloro (kit, comparador de cloro).
Puede aplicarse la supercloración cuando el agua tienen altos contenidos de materia orgánica que dan sabor y olor desagradable al agua, siendo necesario después realizar el proceso de decloración, si se verificase que el agua tiene concentraciones de cloro libre residual por encima de 3 mg/l. Necesariamente la dosis de supercloración se determinará en laboratorio.

11.4 FLUORACIÓN

La fluoración es el proceso de introducir flúor en el agua de abastecimiento público. Es una medida eficaz, práctica y económica para proteger la salud dental sobre todo en la niñez.

Consiste en la adición de flúor en forma de Fluoruro de Sodio, Fluosilicato de Sodio o Acido Fluosilícico.

Previa adopción del proceso se deben caracterizar las aguas de consumo y establecer que la concentración de fluoruros en la misma no sobrepase el valor señalado en la Norma Boliviana NB 512 Agua Potable – Requisitos (1.5 mg/l). Valores superiores pueden influir en la salud, la apariencia, el sabor, el olor o perjudicar otros usos del agua.

En poblaciones mayores de 50 000 habitantes es recomendable el diseño de un sistema que permita agregar flúor al agua de consumo, siempre que se verifique que las concentraciones naturales de flúor en el agua no excedan los valores especificados en la NB 512 (Agua Potable – Requisitos).

La conveniencia o no de su aplicación en el proceso de tratamiento de agua dependerá del resultado de un análisis técnico - económico.

11.4.1. Dosificación

En la dosificación del flúor se debe tomar en cuenta la temperatura máxima del aire, en consideración a la mayor ingesta de agua en zonas de clima cálido. La **Tabla 11.1** muestra los límites de concentración de fluoruros en el agua de consumo humano.

Tabla 11.1. Límites de concentración de fluoruros

Promedio anual de temperatura máxima diaria del aire (ºC)	Concentración de fluoruros (mg/l)		
	Bajas	Optimas	Altas
10,0 – 12,0	0,9	1,2	1,5
12,1 – 14,6	0,8	1,1	1,4
14,7 – 17,7	0,8	1,0	1,3
17,8 – 21,4	0,7	0,9	1,2
21,4 – 26,3	0,7	0,8	1,0
26,4 – 32,5	0,6	0,7	0,8

La **Tabla 11.2** proporciona la relación de sustancias fluoradoras que pueden emplearse en el proceso.

Tabla 11.2. Datos sobre substancias fluoradoras

Nombre del Producto	Concentración de la solución (mg/l)	Dosificación usual (mg/l)	Porcentaje de Flúor en el producto comercial	Dosificador de las subtancias
Fluoruro de Sodio	Hasta 4	0,5 - 1,0	43	Dosificador en seco en solución
Fluosilicato de Sodio	———	0,5 - 1,0	62	Dosificador en seco
Ácido fluosilícico	1	0,5 - 1,0	23	Dosificador en seco o en solución

11.4.2 Formas de Aplicación

El punto de aplicación de las sustancias fluoradas debe ser en el efluente final (salida de los filtros después de la cloración).

Los métodos de aplicación del flúor podrán ser:

- Dosificador de químicos en seco (para compuestos secos de flúor gravimétrico o volumétrico).
- Dosificador de solución química (para soluciones preparadas a partir de compuestos secos de flúor).
- Saturador de flúor.

La selección del método de fluoración debe estar basada en los factores que incluyen la población servida, disponibilidad de las sustancias químicas en el mercado local, costos, capacidad de operación y mantenimiento.

En plantas potabilizadoras con capacidad nominal mayor a 1,0 m3/s se pueden utilizar los alimentadores químicos en seco o los alimentadores de solución química.

En plantas potabilizadoras con capacidad nominal menor a 1,0 m3/s se pueden utilizar los alimentadores químicos en seco o los alimentadores de solución química o bien el saturador.

Los materiales de las tuberías que conducen soluciones fluoradas deben ser de PVC u otros materiales que no reaccionen con los compuestos químicos.

Los materiales de los tanques que contienen soluciones fluoradas deben ser de concreto revestido con materiales no tóxicos y que no sufran deterioro en contacto con las sustancias químicas.

Los dosificadores de sustancias fluoradas no deben sufrir deterioro en contacto con las mismas.

CAPÍTULO 12 - TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

12.1 DEFINICIÓN

Se denominan Tecnologías Alternativas, a las soluciones técnicas que permiten la dotación de agua segura a través de instrumentos, mecanismos, construcciones y/o procedimientos de rápida implementación y de bajo costo. La aplicación de estas tecnologías obedece a la necesidad de dar soluciones a casos particulares para la dotación de agua tomando en cuenta las diferentes características técnicas y naturales de una región, razón por la cual, también se denominan Tecnologías Apropiadas.

12.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

Las Tecnologías Alternativas pueden clasificarse según las medidas y acciones que se tomen sobre ellas, los dispositivos que se empleen, el uso y función que se les asigne:

a) Captación de agua:

- Obras de protección de vertiente con cámara de almacenamiento.
- Excavación de pozos y perforación manual de pozos profundos.
- Captación de aguas de lluvia para consumo humano.

b) Tecnologías para la extracción de agua:

- Bombas manuales.
- Bombas eólicas.
- Bombas solares.
- Bombas de ariete hidráulico.

c) Almacenamiento de agua:

- Tanques de ferrocemento.
- Tanques de material plástico.

d) Tratamiento del agua:

- Filtración en arena a nivel domiciliario.
- Filtración en velas de cerámica porosa.
- Desalinizadores.

e) Desinfección doméstica del agua de uso y consumo humano:

- Empleo de substancias químicas.
- Desinfección solar del agua.

f) Tecnologías para mantener la presión de agua en la red:

- Torre hidroneumática.

12.2.1 Captación de agua

La captación de agua, bajo el concepto de tecnología alternativa, estará orientada a la protección de vertientes, la excavación manual de pozos y la perforación manual de pozos profundos con tecnología apropiada.

12.2.1.1 Obras de protección de vertientes con cámaras de almacenamiento

Estas cámaras son estructuras civiles con dos propósitos: (i) el proteger la vertiente; y, (ii) el almacenamiento de agua en la misma estructura. Son obras civiles que se ejecutan en comunidades pequeñas y con poca demanda de agua.

Estas estructuras, sólo se proyectarán cuando sea imprescindible conservar el nivel dinámico de la red de distribución.

El diseño debe prever que no se provoque el reflujo a la vertiente.

La obra de protección y almacenamiento podrá ser: “de fondo” si es que capta las vertientes de flujo vertical; o, “de ladera”, si es que capta las vertientes de flujo horizontal.

El volumen de almacenamiento debe ser determinado en base a los requerimientos de la población beneficiaria y considerando los criterios señalados para tanques de agua potable.

El volumen útil total de la estructura, será la suma del volumen de captación más el volumen de almacenamiento.
La obra de protección y almacenamiento podrá disponer de un sistema de desinfección, cuando el número de usuarios y el nivel de organización de la comunidad lo permita.

La obra de protección y almacenamiento debe disponer de tuberías de rebose, limpieza y ventilación, además de la tubería de suministro a la red.

12.2.1.2 Excavación manual de pozos y perforación manual de pozos profundos

a) Excavación manual de pozos

La excavación manual de pozos es factible cuando el terreno no tiene configuración rocosa y cuando el nivel freático no es profundo.

La profundidad máxima recomendada es de 20 m, profundidades mayores deberán ser justificadas por el proyectista y deberá considerar equipos adicionales para la excavación.

El diámetro mínimo debe ser 1,00 m, para la facilitar la excavación del pozo.

Los proyectos de pozos excavados deben considerar que el nivel freático de la zona de proyecto, se encuentre como mínimo a 2 m de profundidad en el período de máxima recarga del acuífero. No son aceptables pozos excavados en zonas inundables.

El volumen de almacenamiento en el pozo, se calculará en función a la velocidad de recarga y a la demanda del mismo. El pozo excavado se debe proyectar para una altura útil de agua de por lo menos 1,5 m en el período más seco del año.

Debe considerase una altura adicional de 0,5 m, para la acumulación de sólidos.

El proyectista debe considerar el revestimiento de las paredes del pozo con mampostería de piedra, ladrillo o anillas de concreto. El proyectista debe seleccionar el tipo de revestimiento de acuerdo a su disponibilidad en el lugar.

En el fondo del pozo se debe considerar una cama permeable de áridos o cascote de ladrillo de 2,5 cm de diámetro para evitar la resuspensión de sólidos. La cama tendrá al menos 0,05 m de espesor.

Para proteger los pozos del agua de escorrentía superficial, estos deben diseñarse con un brocal no menor a 0,20 m sobre el nivel del terreno y sello sanitario, cuya profundidad depedera del tipo de terreno, pero en ningún caso será menor a 1,5 m.

Para proteger los pozos de materiales extraños, se debe colocar una tapa sanitaria.

b) Perforación manual de pozos profundos

Las características hidrogeológicas y litológicas de la región determinan los métodos de perforación manual a utilizar: percusión, rotación o la acción combinada.

Para pozos perforados manualmente, el proyectista debe revisar la información hidrogeológica y/o antecedentes de pozos perforados con anterioridad en el emplazamiento del proyecto. Cuando el proyecto considera la construcción de varios pozos, en el diseño, debe preverse una primera fase prospectiva antes de la ejecución plena de la totalidad de los pozos.

Dado que los perfiles litológicos no tienen gran variación en una zona, se puede extrapolar la información obtenida del pozo piloto dentro de la misma microcuenca hidrogeológica.

Dependiendo de las características hidrogeológicas del lugar, los diámetros de los pozos perforados manualmente podrán ser de 2 pulgadas a 4 pulgadas.

El diseño deberá considerar la perforación con un sistema de inyección de lodos para soportar las presiones internas, el mismo que servirá adicionalmente para la reducción de la fricción entre el suelo y el elemento perforador (trépano).

El diseño debe analizar el tipo de bomba manual o eléctrica a ser instalada.

El diseño del pozo perforado manualmente, debe considerar el sello sanitario, brocal y losa de protección. El brocal debe tener al menos una altura de 0,20 m sobre el nivel de terreno.La profundidad del sello sanitario se debe determinar en función del tipo de terreno, en ningún caso menor a 2 m.

En caso de proyectarse la instalación de bombas manuales, debe preverse infraestructura para la evacuación del agua derrochada.

12.2.1.3 Captación de aguas de lluvia para consumo humano

El sistema de captación de aguas de lluvia se aplica a las zonas rurales o urbano – marginales, donde la captación de aguas superficiales o subterráneas no es factible, resulta insuficiente o la calidad de las aguas superficiales y/o subterráneas no son aptas para consumo.

El diseño del sistema de captación de agua de lluvia, debe estar basado en los datos de precipitación mensual de por lo menos 10 años.

La demanda de agua para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia debe considerar un mínimo de 4 (cuatro) litros de agua por persona – por día, para ser destinada solamente a la bebida, preparación de alimentos e higiene personal.

El sistema de captación de agua de lluvia para consumo humano se compone de:

- Captación
- Recolección
- Sistema interceptor
- Almacenamiento
- Tratamiento

a) Captación

Debe utilizarse la superficie del techo de las viviendas, completando el sistema con la instalación de tanques cuya capacidad estará en función a las horas e intensidad de precipitación de la zona y a los requerimientos particulares de la comunidad (captaciones individuales o comunales).

El techo de la vivienda debe tener una pendiente no menor al 5 % en dirección a las canaletas de recolección del agua de lluvia.

La captación de aguas de lluvia como sistema de aprovisionamiento, debe realizarse únicamente en techos construidos con materiales inertes (física, química y biológicamente) y sea posible la sustitución de la superficie de techo y el sistema recolector.

Los coeficientes de escorrentía a ser aplicados, según el material constructivo del techo son mostrados en la **Tabla 12.1**:

Tabla 12.1. Coeficientes de escorrentía

Material	Valor
Calamina	0,90
Tejas de arcilla	0.80 - 0.90
Madera	0.80 - 0.90

Fuente: Adaptado de “Hojas de divulgación técnica”; CEPIS (2003)

b) Recolección

La recolección debe ser realizada mediante canaletas de materiales inertes: PVC, metálicas galvanizadas, bambú o cualquier otro material que no altere la calidad físico – química y bacteriológica del agua recolectada.

El ancho mínimo de las canaletas será de 75 mm y el máximo de 150 mm.

La altura mínima de las canaletas será de 70 mm y la máxima de 100 mm.

Para canaletas con secciones semicirculares el diámetro será de 80 mm y en secciones triangulares con anchos y altura de 100 mm.

El techo debe prolongarse hacia el interior de la canaleta, como mínimo en un 20 % del ancho de la canaleta.

El máximo tirante de agua no debe ser mayor al 60% de la profundidad efectiva de la canaleta.

La velocidad del agua en las canaletas no debe ser mayor a 1,0 m/s.

Las pendientes mínimas de las canaletas serán de 1 % (1cm por cada metro).

Para calcular la capacidad de conducción de la canaleta se deben emplear las formulas de canales, con sus correspondientes coeficientes de rugosidad, acordes a la calidad física del material con que fue construida la canaleta.

c) Interceptor de las primeras aguas de lluvia

Para evitar el ingreso de partículas y material depositado en los techos, se deberá instalar dispositivos para eliminar las primeras aguas (aguas ácidas o aguas con sólidos suspendidos).

El volumen del interceptor se debe calcular a razón de 1 litro de agua de lluvia por metro cuadrado del área del techo drenado.

d) Almacenamiento

El tanque de almacenamiento podrá ser construido de HºCº, Hº Aº, ferrocemento, plástico o asbesto – cemento. El tanque debe disponer de una tapa sanitaria de 0,60 x 0,60 m para facilitar la limpieza y evitar la contaminación del agua, además de un sistema de ventilación protegido para evitar su deterioro.

El volumen de almacenamiento debe determinarse a partir de la demanda de agua, de la intensidad de las precipitaciones y del área de captación. Se determinará por medio del balance de masa a partir del mes de mayor precipitación y por el lapso de un año entre el acumulado de la oferta del agua (precipitación promedio mensual de por lo menos 10 años) y, el acumulado de la demanda mes por mes del agua destinada al consumo humano. El volumen neto del tanque de almacenamiento es la resultante de la sustracción de los valores máximos y la diferencia de los acumulados entre la oferta y la demanda del agua.

El volumen de diseño del tanque de almacenamiento será igual al 110% del volumen neto, que considera altura de lodos y revancha.

El tanque de almacenamiento podrá ser enterrado, superficial o elevado y tendrá una altura máxima de 2 metros. En este caso, la parte superior del tanque no debe estar a menos de 0,30 m con respecto al punto más bajo del área de captación.

El tanque de almacenamiento debe contar con un grifo situado a 0,10 m por encima del fondo para facilitar su limpieza y una tubería de rebose situado a 0,10 m por debajo del techo o del ingreso del agua de lluvia.

El ingreso del agua de lluvia al tanque de almacenamiento, podrá realizarse por la tapa o por las paredes laterales del mismo, por medio de una tubería no menor a 75 mm de diámetro.

El interior del tanque de almacenamiento debe ser impermeable, no debiendo utilizarse productos químicos o aditivos que contaminen la calidad de las aguas.

e) Tratamiento del agua

Se podrá realizar el tratamiento del agua a partir del uso de filtros domésticos de arena o filtros de velas de cerámica porosa. Asimismo, se debe desinfectar el agua mediante cloración o cualquier otro proceso de desinfección.

12.2.1.4 Captaciones de agua de lluvia en el suelo (atajados)

Los atajados son obras de captación y almacenamiento de aguas de lluvia. Se debe dar un tratamiento al suelo para impermeabilizarlo utilizando arcillas compactadas o disponer de materiales sintéticos que, colocados sobre el suelo preparado, eviten la infiltración.

Como medida de seguridad sanitaria, los atajados deben tener un cerco perimetral de al menos 1,50 m de altura que impida el ingreso de animales y, dispuesta a una distancia mínima de 2,0 m de su perímetro mayor en época de lluvias (máximo volumen de almacenamiento).

Se debe disponer de una estructura de excedencia (vertedero de excedencias) que regule el nivel máximo de agua en el atajado.

12.2.2 Tecnologías para la extracción de agua

Las tecnologías para la extracción de agua comprenden los sistemas de bombeo manual, eólico, solar y la accionada por ariete hidráulico.

12.2.2.1 Bombas manuales

Las bombas manuales son dispositivos mecánicos, destinados a extraer agua, de un nivel inferior a otro superior accionados por la fuerza física humana. Son alternativas viables toda vez que el acceso a la tecnología por parte de los usuarios es rápida y de bajo costo.

Se deben utilizar cuando no existe la posibilidad de suministrar el agua por un sistema convencional (fuente, sistema de tratamiento, sistema de distribución).

Los sistemas de bombeo manual deben tener posibilidad de reemplazo total o parcial.

La tecnología que se adopte, debe ser aquella que se ha diseñado con las facilidades técnicas para que una mujer o un niño sean capaces de operarla sin dificultad.

Las bombas manuales deben responder al concepto BOMPO (Bomba de Operación y Mantenimiento a nivel de POblado), sin requerir apoyo técnico externo. Entre las tecnologías desarrolladas y aplicadas en el país se tienen: Bombas tipo Balde, Bombas Rosario, Bombas YAKU, Bombas AYNI, Bombas FLEXI -OPS, para pozos excavados o perforados.

Los requisitos que debe cumplir una bomba para que esté dentro del concepto BOMPO son:

- Debe ser de fácil mantenimiento y que el responsable de la comunidad pueda realizarlos con conocimiento mínimos y pocas herramientas.

- Su fabricación local debe garantizar la disponibilidad de repuestos.

- Debe tener garantía de funcionamiento en condiciones de trabajo.

- Tener buena relación costo/beneficio.

- Los materiales de su construcción deben ser resistentes a la corrosión y a la abrasión debido a la presencia de agentes químicos y arena en el agua.

- Debe ser aceptada y demandada por la comunidad.

12.2.2.2 Bombas eólicas

Son dispositivos mecánicos, destinados a extraer agua, de un nivel inferior a otro superior accionados por la fuerza eólica. La bomba eólica permite extraer agua de pozos perforados y excavados.

La utilización de bombas eólicas se debe circunscribir a zonas donde la fuerza y velocidad de los vientos permita accionar los mecanismos dispuestos en ella en forma eficiente.
El diseño de la estructura y los mecanismos (torre y rotor con aspas) debe responder a cálculos realizados considerando la variación de la fuerza y dirección de los vientos, disponiendo de un mecanismo que frena las aspas en presencia de vientos de alta velocidad.

Podrá diseñarse rotores eólicos de eje vertical “de sustentación”, en los que la fuerza sobre el rotor es hacia arriba y perpendicular al viento; o los de “arrastre”, en los que la fuerza del viento sobre el rotor está en dirección paralela y opuesta al flujo de aire. El proyectista debe seleccionar el tipo de rotor según sus requerimientos y la facilidad de operar y mantener el equipo.

Las bombas eólicas deben responder al concepto BOMPO.

12.2.2.3 Bombas solares

Son dispositivos electromecánicos que utilizan la energía solar para su funcionamiento, permitiendo extraer agua de pozos perforados y excavados. La energía eléctrica necesaria para su funcionamiento es generada por los paneles fotovoltaicos, debiendo trabajar estos en condiciones de luz baja a potencia reducida, sin decaer o sobrecalentarse.

En bombas solares debe considerarse el empleo de un acumulador - amplificador de corriente, ayudando a la bomba a no detenerse al decaer la luz solar.

Las bombas solares se emplearán cuando no exista energía eléctrica y se analizará su factibilidad técnica – económica para pequeños sistemas y pozos de poca o mediana profundidad.

12.2.2.4 Bombas de Ariete hidráulico

Son dispositivos mecánicos que permiten elevar agua aprovechando la energía hidráulica del golpe de ariete.

Las bombas de ariete podrán operar con caudales pequeños desde 4 litros por minuto, siempre y cuando la caída de agua sea suficiente. Si el caudal es relativamente grande, una caída de 0.80 m será suficiente para operar una bomba.

12.2.3 Almacenamiento de agua

El almacenamiento de agua se puede realizar a través de la utilización de tanques construidos con tecnología apropiada (tanques de ferrocemento) o tanques prefabricados en materiales que no sufren deterioro en su transporte (plásticos).

El número y volumen de los tanques debe estar en función a la demanda que se calcule.

12.2.3.1 Tanques de ferrocemento

Son estructuras de paredes delgadas construidas con fierro, malla hexagonal, cemento y áridos finos. Los tanques de ferrocemento son económicos y de fácil construcción, capaces de soportar grandes solicitaciones de carga, empuje de viento y del suelo.

Para el diseño de tanques de ferrocemento cuyo volumen sea menor a 25 m^3, se debe emplear el criterio de tensiones normales uniformes de esferas y cilindros sometidos a presión interior de líquidos, en los cuales se producen tensiones normales en dos direcciones. Las que actúan en dirección del eje geométrico del cilindro denominadas axiales o longitudinales y las que lo hacen en una dirección perpendicular, tangentes.

Para el diseño de tanques cuyo volumen sea de 25 m^3 a 500 m^3,se debe rigidizar la pared del tanque mediante un número determinado de columnas, las que evitan el pandeo de la membrana y soportan las cargas de la losa, transmitiéndose directamente al suelo, evitando los esfuerzos de flexión en el borde superior e inferior del cilindro.

La Tabla 12.2 muestra la relación de volúmenes, alturas de tanque y los diámetros calculados por el método de la membrana (sin columnas y losa plana como techo).

Tabla 12.2. Espesores de pared para diferentes volúmenes de tanque de ferrocemento

Volumen (m^3)	Diámetro (m)	Altura (m)	Espesor (cm)	Espesor adoptado (cm)
5	1,5	2,20	2,63	5
10	1,8	2,85	4,17	5
15	1,8	3,50	5,12	5
20	2,0	3,80	6,18	6
25	2,0	4,20	6,83	antieconómico
30	2,1	4,50	7,68	antieconómico
35	2,1	4,85	8,28	antieconómico
40	2,2	5,00	8,95	antieconómico

Fuente: Ibarra C. (1999)

12.2.3.2 Tanques plásticos

Son elementos que permiten almacenar el agua en pequeños volúmenes (< 15 m^3) y pueden ser utilizados por familias en forma individual o por la comunidad. Presentan la facilidad del transporte sin deteriorarse y su instalación es rápida y segura.

12.2.4 Tratamiento doméstico del agua

Se debe aplicar el tratamiento del agua, toda vez que se requiere remover material en suspensión o microorganismos que causen enfermedades de origen hídrico. Las tecnologías apropiadas que permiten una reducción significativa son: la filtración y la desinfección.

12.2.4.1 Filtración en arena a nivel domiciliario

Se puede aplicar la filtración en arena cuando se requiera depurar las aguas a nivel domiciliario. Se debe colocar el material granular en un recipiente cilíndrico de material inerte (plástico o cerámica) en capas de diferente granulometría.

El filtro casero deber ser de fácil operación y mantenimiento

Se debe utilizar grifería y accesorios plásticos o de PVC para evitar el deterioro de la calidad del agua.

Se debe utilizar un lecho filtrante que presente las características mostradas en la **Tabla 12.3** donde se señalan tamaños efectivos y espesores de capa.

Tabla 12.3. Filtros domiciliarios

Material granular	Tamaño efectivo (cm)	Espesor de capa (cm)
Grava tipo 1	5	5
Grava tipo 2	2	2
Gravilla	0,6	5
Arena gruesa	0,2	5
Arena fina	0,02 – 0,03	20 mínimo

Fuente: Fundación Sumaj Huasi (2004)

Para aquellas zonas que no disponen de material granular grueso, se puede utilizar los filtros lentos de una sola capa con la arena fina en un lecho no menor a 30 cm. Se utilizará tela sintética (plástica) para evitar la pérdida de material fino a través del grifo.

12.2.4.2 Filtración con velas de cerámica porosa

El proceso de filtración se lleva a cabo en velas de material cerámico microporoso que no permite el paso de material suspendido ni microorganismos. El agua atraviesa la superficie de la vela hacia un colector central (núcleo de la vela).

Los filtros de vela pueden montarse con una, dos o tres velas sobre un recipiente inerte (plástico) que debe ser colocado sobre otro de la misma capacidad y calidad que sirva de colector del agua filtrada. El recipiente superior debe disponer de una tapa para evitar deterioro de la calidad del agua. El recipiente inferior debe disponer de un grifo plástico que permita el uso del agua filtrada.

El tiempo de filtrado dependerá del tipo y calidad de la vela. El proyectista deberá prever los costos y frecuencias de reemplazos para estimar su análisis de factibilidad económica – financiera del proyecto.

La tecnología cuenta con variantes en el tamaño de las porosidades y las propiedades que se le da a la cerámica para poder remocionar elementos indeseables en el agua (metales pesados), así como revestimientos en base a sales de plata que tienen efecto bactericida. El proyectista debe seleccionar las velas requeridas en función a la calidad del agua a tratar.

El proyectista debe seleccionar el tipo y número de velas, en función de los elementos a remocionarse y de la cantidad de agua requerida por familia.

12.2.4.3 Desalinizadores

La desalinización se debe aplicar cuando se requiera la extracción de las sales y material indeseable en las aguas, cuando éstas tienen concentraciones que sobrepasan los valores establecidos en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos).

La desalinización se realizará en cajas oscuras y cuya parte superior está construida de vidrio transparente que deja pasar la luz solar, calentando el sistema hasta temperaturas que permiten condensar el agua (40 a 60 ºC) y recuperar el condensado en la superficie de vidrio.

El vidrio, debe tener una inclinación igual a 40 º respecto a la horizontal y debe escurrir libremente hacia una canaleta recolectora para su posterior almacenamiento en un recipiente plástico.

El desalinizador debe almacenar agua con una altura de 3 cm (altura óptima) para producir el volumen máximo de agua.

El volumen máximo de agua producida por un desalinizador es de 2.6 litros/día/m^2 con cielo despejado. Cielos semicubiertos disminuyen un 15 % la producción y cielos cubiertos un 40 %. El mayor rendimiento del desalinizador se produce entre las 10:00 y 15:00 horas en el occidente de Bolivia.

Para una familia de 5 miembros, un área de 2 m^2 satisface el requerimiento para agua de bebida. El proyectista debe compatibilizar el número de las unidades desalinizadoras con el número de usuarios a abastecer.

Complementario a la tecnología de la desalinización, se debe realizar la recomposición del agua, mezclando los condensados en proporciones deseadas con el agua sin tratar, logrando concentraciones deseables de las sales en el agua y de esta manera aumentar los volúmenes de agua tratada. Deberá preverse la desinfección del agua mezclada.

La tecnología de la desalinización se puede utilizar cuando se requiera remover metales pesados. La remoción de metales pesados como el plomo y el arsénico puede alcanzar valores hasta 67 y 96 % respectivamente. Se puede aumentar la eficiencia remocional, disponiendo de unidades en serie.

Se debe aplicar la tecnología de desalinización en aguas cuya turbiedad máxima sea de 200 UNT.

12.2.5 Desinfección doméstica del agua para uso y consumo humano

La desinfección doméstica se debe realizar cuando exista ausencia de agua clorada en la red y los suministros de agua se realicen a través de tecnologías apropiadas (sistemas de bombeo manual, captaciones de galerías filtrantes, provisión de agua por carros cisternas u otros) y cuando la recolección se realice directamente de pozos excavados manualmente o la recolección de agua sea de la misma fuente (lago, río, atajado u otros).

12.2.5.1 Empleo de sustancias químicas

La dosis de las substancias químicas no debe exceder los 3 mg/l cuando se emplee: hipoclorito de sodio (8% de activo), hipoclorito de calcio (70% de activo), o soluciones de Hipoclorito de sodio procedentes de los generadores de cloro (0,5 % de activo).

Para volúmenes fijos de agua, se debe adicionar el cloro según lo especificado en la **Tabla 12.4**, para obtener una dosis unitaria de 1 mg/l.

Tabla 12.4. Cantidad de hipocloritos aplicables a diferentes volúmenes de agua para desinfectarla a dosis unitaria de 1 mg/l

Volumen de agua a disinfectar (litros)	Hipoclorito de sodio 8%		Hipoclorito de calcio 70% (gr)	Hipoclorito de sodio 0.5% (ml)
	gotas	ml		
5	2	0,0625	*	1
10	3	0,125	*	10
100	25	1,25	*	100
1 000	-	12,5	1.43	**

* Volumen de agua reducido para aplicar hipoclorito de calcio.

** Volumen excesivo de reactivo para realizar la desinfección.

Nota: 1 ml equivale aproximadamente a 20 gotas.

- Para calcular la cantidad de hipoclorito necesario para otras dosis, simplemente se multiplicará el valor de la tabla por el valor de la nueva dosis (entre 0.5 y 3 mg/l).
- Para calcular otros volúmenes de agua a desinfectar, al valor unitario de la tabla se multiplicará por el valor deseado.

El proyectista debe determinar la dosis requerida para desinfectar el agua en base a pruebas de laboratorio (demanda de cloro), de no poder realizar éstas, se puede recurrir a tantear la dosis determinando el cloro residual después del tiempo de contacto (30 minutos como mínimo) a través de un medidor de cloro residual.

12.2.5.2 Desinfección Solar del agua

Los rayos del sol pueden aplicarse al agua para producir en ella la desinfección. El proceso es conocido como desinfección solar del agua. La desinfección solar se lleva a cabo por el efecto sinérgico de la luz solar, donde la radiación UV – A tiene efecto germicida y la radiación infrarroja eleva la temperatura del agua. Esta combinación tiene efecto letal sobre los patógenos presentes en el agua, por la no adaptación a las condiciones que se les impone.

Los microorganismos son sensibles al calor y presentan mortalidad del 100 % para tiempos de exposición entre 1 y 60 minutos a temperaturas entre 50 y 60 ºC.

El efecto de exposición a la radiación y el incremento de temperatura en un cuerpo de agua se debe lograr exponiendo el agua al sol en botellas transparentes y que alcancen una temperatura de 57 ºC durante 1 minuto o si el agua contaminada mantiene una temperatura de 50 ºC durante 1 hora. Se logra efecto bactericida con temperaturas menores a 57 ºC, exponiendo las botellas al sol por tiempos largos (6 horas) o 2 días.

Las regiones más favorables para la exposición se ubican entre las latitudes 15º N y 35º N (así como 15º S y 35º S), correspondientes a las zonas áridas.
Para una desinfección solar efectiva se debe contar con una intensidad total de radiación solar de por lo menos 500 W/m^2 durante aproximadamente 6 horas.

Se debe considerar que durante días completamente nublados la radiación UV – A se reduce a un tercio de la intensidad registrada durante un día despejado. Influyendo este aspecto en el tiempo de exposición. Durante días muy nublados las botellas deben estar expuestas durante dos días consecutivos para alcanzar la radiación requerida y garantizar la inactivación de los patógenos.

En días de lluvia continua la desinfección solar no funciona, por lo que se debe hervir el agua, consumir agua de lluvia, adecuadamente recolectada o disponer de botellas almacenadas con agua desinfectada por el sol con anterioridad.

Al aplicar la disinfección solar al agua para consumo humano, la turviedad no debe exeder de 5 UNT. Si la turbiedad fuese mayor, se debe pretratarla (tamizarla, decantarla y/o filtrarla), antes de exponerla a la luz solar.

Se debe utilizar recipientes (botellas) de materiales apropiados. El material de los recipientes recomendable es el PET (tereftalato de polietileno), que contienen menos aditivos como estabilizadores de UV que las de PVC.

La continua exposición de las botellas a la luz solar origina cambios en las propiedades ópticas del plástico, por lo que se debe renovarlas toda vez que se verifique rayaduras y el natural envejecimiento por la pérdida de los estabilizadores UV.

12.2.6 Tecnología para mantener la presión del agua en la red

Está conformada por uno o varios cilindros (tuberías de acero galvanizado) dispuestos en un trípode metálico, que actúan como tanques de almacenamiento de agua a presión, un sistema instrumental que detecta el estado de presión de la red y controla el funcionamiento de la bomba.

12.2.6.1 Torre hidroneumática

La función de la torre hidroneumática es la de mantener la presión de agua en una red dentro de los límites preestablecidos de manera continua. Trabaja en forma conjunta con una bomba eléctrica (sumergible o centrífuga).

Se puede aplicar este sistema en pequeñas comunidades, condominios, barrios o en viviendas multifamiliares.

El proyectista debe elegir el prototipo de torre hidroneumática según los caudales con los que se opere la red y la presión necesaria en la misma.

El prototipo seleccionado debe ser provisto del instrumental de control de presión con campo de regulación de 1,0 a 4,6 bares y el respectivo cableado eléctrico completo, tablero, motores e instrumentos.

12.3 SELECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

La selección de las Tecnologías Alternativas para la dotación de agua segura debe estar en armonía con la cultura local, en concordancia con la capacidad financiera y técnica de la comunidad tanto en sus aspectos de construcción como de operación y mantenimiento y, en lo referente al uso de los recursos ambientales.

La selección de las Tecnologías Alternativas dependerá del criterio y análisis técnico del responsable del diseño, construcción o implementación de un proyecto. Los criterios generales que deben considerarse son:

a) Características hidrogeológicas de la región y lugar del proyecto

Se deben determinar las características hidrogeológicas de la región, en particular donde se implemente una tecnología alternativa para la dotación de agua, a partir de información general obtenida de cartas o mapas regionales, estudios referenciales o de proyectos similares desarrollados en la zona o región, que muestren las potencialidades del recurso hídrico en cantidad y calidad.

b) Características topográficas del lugar de proyecto

Se deben tomar en cuenta las características topográficas del lugar del proyecto, por cuanto, algunas de ellas tienen restricción o limitación para su implementación (p.e. bomba de ariete).

c) Distancia a otras fuentes de abastecimiento

Se debe determinar la distancia a otras fuentes de abastecimiento a objeto de establecer la factibilidad técnico - económica de implementar una tecnología alternativa que provea agua de calidad a menor costo.

d) Calidad del agua

Se debe determinar la calidad del agua para la selección de la tecnología alternativa, que permita cumplir conlos requisitos establecidos en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable - Requisitos).
El procedimiento para la caracterización de las aguas destinadas a consumo se realizará a través de análisis en laboratorios especializados o por medio de equipos portátiles de campo que determinen los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos señalados en la presente Norma, Capitulo 4 “CALIDAD DEL AGUA” ; **Anexo B (Normativo)**; **Tabla 1:** “Análisis Básicos Recomendables para la Caracterización de las Fuentes de Agua Destinadas a Consumo Humano en Poblaciones Menores a 10 000 Habitantes”.

Se establecerá la calidad del agua a partir de los valores máximos aceptables de los parámetros físico – químicos y bacteriológicos señalados en la **Tabla 2** del **Anexo B (Normativo)**, correspondientes a los valores de la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos).

Los análisis físico-químico y bacteriológicos se deben realizar en toda fuente de agua superficial o subterránea (excepto en la captación de aguas de lluvia), previo a la implementación de filtración a nivel domiciliario, desinfección doméstica, filtración con velas de cerámica porosa y uso de desalinizadores.

e) Costo de la tecnología

Para la selección de la tecnología, se debe establecer el costo de implementación, operación y mantenimiento para el beneficiario.

f) Accesibilidad

El proyectista debe establecer la accesibilidad a la tecnología alternativa desde el punto de vista técnico, económico y socio-cultural como base de la sostenibilidad.

g) Condiciones climáticas

Toda tecnología alternativa debe tomar en cuenta las condiciones climáticas del lugar del proyecto. El proyectista debe recabar información climatológica que asegure la disponibilidad de recursos (hídricos y/o energéticos) que requiere la tecnología alternativa a ser implementada. La selección de materiales debe ser adecuada a las condiciones climáticas del lugar, así como las medidas de protección necesarias que eviten su deterioro.

h) Disponibilidad de materiales de construcción en el lugar del proyecto

Los materiales con los que se construya una tecnología alternativa deben ser locales u obtenibles del mercado nacional. El proyectista deberá justificar la importación de insumos, partes o repuestos provenientes de mercados del extranjero y presentará en el proyecto un análisis de sostenibilidad técnico - económica en el tiempo.

Las tecnologías alternativas procedentes del mercado extranjero (equipos y suministros), que cumplan una función determinada dentro del abastecimiento o tratamiento de las aguas para consumo humano, deben ser evaluadas previa su implementación. El proyectista debe adjuntar en el proyecto la documentación técnica que respalde la eficiencia y condiciones en las que se probó la tecnología o los suministros propuestos.

i) Voluntad y disposición comunitaria para el uso

En la implementación de tecnologías alternativas como base de la sostenibilidad, debe incluirse en el proyecto la documentación que refleje que la comunidad tiene el conocimiento de las ventajas y desventajas de la tecnología y la disposición comunitaria para el uso.

j) Operación y mantenimiento de la tecnología

La comunidad o grupo beneficiado debe tener los criterios para la operación y mantenimiento de la tecnología adoptada y conocer los beneficios directos e indirectos que percibirá de ella.

La comunidad debe conocer los costos de construcción, operación y mantenimiento que le impone la tecnología y deben ser aceptados por ella misma, como base de la sostenibilidad. En el proyecto se debe incluir documentación que demuestre la aceptabilidad por parte de la comunidad de la(s) tecnología(s) a implementarse.

k) Otros criterios para la selección de la tecnología alternativa

El proyectista debe especificar y documentar en el proyecto, otros criterios no señalados en la presente Norma, que sean favorables a la sostenibilidad de la tecnología y el proyecto en su conjunto.

GLOSARIO

Abatimiento. Diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico, que es función y consecuencia del proceso de bombeo.

Ablandamiento del Agua. Proceso de tratamiento aplicado a las aguas con exceso de sales de calcio y magnesio. Se refiere a la remoción de dureza carbonácea y no carbonácea.

Acuífero. Estructura geológica estratigráfica sedimentaria, cuyo volumen de poros está ocupado por agua en movimiento o estática.

Acuífero confinado. Acuífero comprendido entre dos capas impermeables, estando el agua contenida en él sometida a presión mayor a la atmosférica.

Acuífero libre. Acuífero cuya superficie libre del agua se encuentra a presión atmosférica.

Aducción. Conjunto de tuberías, canales, túneles, dispositivos y obras civiles que permiten el transporte de agua desde la obra de captación hasta la planta de tratamiento y/o tanque de almacenamiento o directamente a la red.

Agua cruda. Agua superficial, subterránea o pluvial en estado natural.

Agua potable. Agua que por su calidad física, química radiológica y microbiológica es apta para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua.

Agua freática. Agua subterránea más cercana a la superficie del suelo.

Aireación. Proceso por el cual que se produce un contacto entre el aire y el agua a objeto de oxigenarla y/o remocionar gases y sustancias volátiles.

Almacenamiento total. Volumen correspondiente a la capacidad de todos los tanques de distribución. Puede referirse a los tanques de almacenamiento de una única zona de presión o a los tanques de almacenamiento de todo el sistema de distribución.

Área específica. En un sistema de distribución, es el área cuyas características de ocupación se tornan distintas de las áreas vecinas, en términos de concentración demográfica y de la categoría de consumidores presentes.

Azolve. Lodo o sedimento que obstruye un conducto de agua.

Barrera múltiple. Inclusión de una o más etapas al tratamiento de las aguas. Estas etapas juntas remueven progresivamente los contaminantes para producir agua de uso y consumo humano. También conocido como “múltiples etapas de tratamiento”.

Bocas de desagüe. Dispositivos que sirven para el drenaje de las aguas.

Bomba manual. Dispositivo mecánico, destinado a extraer agua de un nivel inferior a otro superior accionados por la fuerza física humana.

Bomba eólica. Dispositivo mecánico destinado a extraer agua de un nivel inferior a otro superior accionados por la fuerza eólica (viento).

Bomba solar. Dispositivo electromecánico que utiliza la energía solar para su funcionamiento, permitiendo extraer agua de pozos perforados y excavados. La energía eléctrica necesaria para su funcionamiento es generada por los paneles fotovoltaicos.

Bomba de ariete hidráulico. Dispositivo mecánico que permite elevar agua aprovechando la energía hidráulica del golpe de ariete.

Calidad del agua. Se expresa mediante la caracterización de los elementos y compuestos presentes, en solución o en suspensión, que desvirtúan la composición original.

Cámara de bombeo. Depósito de agua, destinado a alojar el dispositivo de succión del equipo de bombeo. Se denomina también cárcamo de bombeo.

Capacidad de la instalación. Capacidad que presenta o se asigna a una instalación sobre la base de su infraestructura y recursos disponibles.

Capacidad de almacenamiento. Volumen de agua que puede ser almacenado en un tanque.

Capacidad específica. Relación entre el caudal extraído de un pozo y la profundidad o longitud de abatimiento, para un tiempo determinado, expresado en l/s-m.

Captación. Estructura o conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de la fuente.

Categoría de consumidor. Clasificación del consumidor o usuario de acuerdo con la actividad y uso que hace del agua y con la cantidad de agua consumida en una unidad de tiempo.

Cámara de lodos. Compartimiento diseñado en forma y tamaño tal, que permita la acumulación y posterior extracción de lodos de las plantas potabilizadoras de agua.

Cámaras de lodos continúas. Receptáculos de lodos, dispuestos a lo largo de la zona de sedimentación, dispuestos de forma continua.

Cámaras de lodos separadas. Receptáculos de lodo, dispuestos a lo largo y ancho de la zona de sedimentación, dispuestos en forma separada, presentando una forma troncocónica invertida.

Caudal máximo diario. Consumo máximo durante 24 horas observado en el período de un año sin tener en cuenta los gastos que se hayan presentado por razones de incendio, pérdidas, accidentes y fuerza mayor.

Caudal máximo horario. Consumo máximo obtenido durante una hora en el período de un año sin tener en cuenta los gastos que se hayan presentado por razones de incendio, pérdidas, etc.

Caudal medio diario. Consumo durante 24 horas, obtenido como promedio de los consumos diarios en el período de un año.

Cementación. Proceso que consiste en cubrir la superficie de un tubo con revestimiento de mortero o pasta de cemento a fin de proteger el tubo contra la corrosión.

Ciclo hidrológico. Sucesión de estados físicos de las aguas naturales: evaporación, condensación, precipitación pluvial, escorrentía superficial, infiltración subterránea, depósito en cuerpos superficiales y nuevamente evaporación.

Coagulación. Reacción y mecanismo físico - químico que produce la agrupación de partículas, mediante la desestabilización de las partículas y el contacto físico entre ellas.

Coeficiente de almacenamiento de un acuífero. Corresponde a la relación entre el volumen de agua drenado por área unitaria, cuando la presión estática desciende una unidad.

Coeficiente de permeabilidad. Volumen de agua que pasa en una unidad de tiempo a través de una sección del material de área unitaria con un gradiente hidráulico unitario.

Coeficiente de transmisión o transmisibilidad. Es igual al coeficiente de permeabilidad multiplicado por el espesor del acuífero.

Coliformes Termorresistentes. Grupo de bacterias que fermenta la lactosa a 44ºC – 45 ºC, comprendiendo el género Escherichia y en menor grado especies de Klebsiella, Enterobacter y Citrobacter. Los termorresistentes distintos de E. coli pueden proceder de aguas orgánicamente enriquecidas (efluentes industriales, materiales vegetales y suelos en descomposición).

Coliformes Totales. Indicador microbiano de la calidad del agua de bebida. Se denominan:"organismos coliformes" (total de coliformes) siendo bacterias Gram –negativas que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos, fermentando la lactosa a 35 ºC – 37 ºC, produciendo gas y aldehído en un plazo de 24 a 48 horas.

Compatibilidad medio ambiental. Empatía existente entre una instalación de tratamiento, su medio ambiente y otras instalaciones que están interrelacionadas.

Conexión domiciliaria. Conjunto de tuberías y accesorios que permiten la conducción del agua desde la red de distribución hasta el límite de propiedad del beneficiario.

Consumo en la red. Cantidad de agua del sistema de distribución utilizada en una unidad de tiempo.

Cribado o cernido. Proceso mediante el cual se retienen sólidos gruesos en rejas o cribas. Se denomina también desbaste.

Desinfección. Proceso que permite la inactivación de microorganismos patógenos y no patógenos a través de la adición de sustancias desinfectantes (oxidantes), agentes físicos como el calor y la radiación.

Dotación. Cantidad de agua que se asigna a un habitante para su consumo por día, expresado en (l/h - d).

Escherichia coli. Pertenece a la familia de las enterobacteríaceas. Se desarrolla a 44ºC – 45 ºC en medios complejos, fermenta la lactosa y el manitol liberando ácido y gas; produce indol a partir del triptófano. Algunas cepas pueden desarrollarse a 37 ºC pero no a 44 ºC – 45 ºC y algunas no liberan gas. La Escherichia coli se encuentra en las heces fecales de origen humano y animal. Se halla en aguas residuales, los efluentes tratados y todas las aguas y suelos que hayan sufrido una contaminación fecal reciente.

Estación de bombeo. Conjunto de estructuras, instalaciones y equipos que permiten elevar el agua de un nivel inferior a otro superior, haciendo uso de equipos de bombeo.

Estiaje. Época o periodo del año en el que las precipitaciones pluviales son nulas o mínimas.

Fiabilidad. Grado de confiabilidad que se tenga a un proceso de tratamiento, dándole calidad de “esencialmente seguro y a prueba de fallos”.

Filtración. Proceso físico de separación de materia en suspensión presente en el agua a través de un medio granular.

Filtro o criba. Dispositivo en forma tubular colocado en formaciones acuíferas no consolidadas, para permitir la entrada de agua a un pozo en condiciones favorables.

Flexibilidad del proceso. Grado de acomodamiento a cambios de orden operacional, mantenimiento y administrativo, debidas a fluctuaciones cualitativas y cuantitativas en la materia prima (agua a tratar).

Floculación. Proceso físico en el que se producen contactos interparticulares, para formar posteriormente masas mayores denominadas flóculos.

Flotación. Ascenso de sólidos en suspensión contenidos en el agua, utilizando un agente de flotación (burbujas de aire).

Fuente de abastecimiento de agua. Depósitos o cursos naturales de agua, superficiales o subterráneos.

Galería filtrante. Conducto horizontal construido en un medio permeable, para interceptar y recolectar agua subterránea que fluye por gravedad.

Gestión de residuos de plantas. Manejo, almacenamiento, transporte y disposición final de los residuos sólidos, líquidos y al control de los residuos gaseosos generados en una planta potabilizadora de agua.

Golpe de ariete. Fenómeno oscilatorio causado por el cierre rápido de válvulas o, por el paro repentino del sistema de bombeo, que da lugar a la transformación de la energía cinética del líquido en energía elástica almacenada tanto en el agua como en la tubería, provocando sobrepresiones y subpresiones, que pueden originar la ruptura de la tubería.

Inviabilización. Evitar su desarrollo; no dar vialidad al crecimiento; aplicable al campo microbiológico (bacteriológico).

Isócrona de 50 días. Zona dentro la cual los gérmenes patógenos llegarían a la fuente de agua en 50 días o menos.

Lixiviado. Líquido de características físico – químicas y microbiológicas especificas proveniente de la deshidratación de los lodos.

Lodo. Residuo semisólido o líquido proveniente del proceso de tratamiento de la aguas, formado a partir de los residuos sólidos suspendidos, coloidales y disueltos remocionados y acumulados en las unidades de tratamiento y que requieren ser tratados, transportados y dispuestos adecuadamente.

Manantial. Afloramiento de agua subterránea que aparece en la superficie en forma de corriente debido a la presencia de algún tipo de singularidades ya sea de la topografía del terreno o de las condiciones del subsuelo.

Nivel dinámico. Distancia medida desde la superficie del terreno hasta el nivel de agua en el pozo producido por el bombeo.

Nivel estático. Distancia desde la superficie del terreno hasta el nivel de agua en el pozo, no afectado por el bombeo.

Nivel freático. Nivel de agua subterránea libre más cercano a la superficie del suelo.

Nivel máximo útil. Mayor nivel que podrá ser alcanzado en el reservorio, controlado, por condiciones de operación que evitarán la pérdida de agua a través del rebosadero.

Nivel máximo. Nivel fijado por el dispositivo de rebose.

Nivel medio. Nivel correspondiente a la media aritmética de las cotas relativas a los niveles máximo útil y mínimo útil.

Nivel mínimo útil. Es el menor nivel de agua que permitirá abastecer agua a la red de distribución durante las ocasiones en que el consumo es máximo.

Obra de captación. Estructura o conjunto de estructuras necesarias para obtener agua de una fuente.

Pasta. Estado intermedio entre la fase líquida y sólida producto de la deshidratación parcial de los lodos; se conoce también con el nombre de “cake”, queque o torta.

Permeabilidad. Permeabilidad de un material o coeficiente de permeabilidad, es el volumen de agua que pasa en una unidad de tiempo, a través de una sección del material de área unitaria con un gradiente hidráulico unitario.

Pileta pública. Infraestructura civil y accesorios localizados en lugar público, que permiten la distribución del agua a los usuarios o consumidores con fines domésticos.

Planta de Tratamiento. Conjunto de obras civiles, instalaciones y equipos convenientemente dispuestos para llevar a cabo procesos y operaciones unitarias que permitan obtener aguas de calidad aptas para consumo y uso humano. Se denomina también Planta potabilizadora de agua.

Porosidad. Medida del contenido de vacíos o intersticios en un medio, dada por la relación porcentual entre el espacio vacío y el volumen total.

Pozo artesiano. Pozo que capta agua de un acuífero combinado, donde el nivel estático del pozo se eleva por encima del nivel superior del acuífero en la ubicación del pozo.

Pozo freático. Pozo que capta el agua de un acuífero libre.

Pozo profundo. Pozo excavado mecánicamente y luego entubado, del que se extrae agua en forma mecánica desde cualquier profundidad.

Pozo somero. Pozo de agua generalmente excavado a mano, que sirve para obtener agua del nivel freático principalmente para uso doméstico.

Prefiltro o empaque de grava. Capa de material granular (arena, gravilla o grava) colocada entre el filtro y la formación acuífera.

Presión de servicio. Presión requerida para que el agua llegue al punto más desfavorable del sistema.

Presión de rotura. Presión interna a la cual una tubería falla o se rompe.

Presión dinámica. Diferencia entre la presión estática y las pérdidas de carga producidas en el tramo respectivo, en el momento de flujo máximo.

Presión estática. Presión en un punto de la aducción o red considerando la ausencia de flujo en la misma o consumo nulo en la red.

Presión nominal. Presión interna máxima a la que puede estar sometida una tubería en las condiciones de apoyo y relleno establecidas en el proyecto.

Proceso oligodinámico. Proceso por el cual se manifiesta la acción desinfectante de un metal (plata iónica) debido a la “fuerza de cantidades diminutas”.

Rebosadero. Dispositivo destinado a impedir que el nivel de agua en el reservorio sobrepase una cota predeterminada, descargando el eventual exceso a un destino conveniente.

Recarbonatación. Proceso de aplicación de dióxido de carbono para bajar el pH del agua.

Red de distribución. Conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten la entrega del agua a los consumidores en forma constante con presión apropiada y en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades.

Residuos de plantas. Productos provenientes de uno o varios procesos de tratamiento de las aguas conocidos como lodos (sólidos en agua), salmueras o concentrados (fase liquida con sólidos disueltos) y gaseosos (gases y polvos).

Residuos gaseosos. Corresponde a todo residuo gaseoso generado en una planta potabilizadora de agua, producto de los procesos o de las acciones de operación y mantenimiento.

Residuos líquidos. Corresponde a todo residuo líquido generado en una planta potabilizadora de agua, producto de los procesos o de las acciones de operación y mantenimiento.

Sedimentación. Proceso físico de remoción de partículas presentes en el agua a tratar, considerando que las mismas tienen un peso específico mayor al del agua.

Sistema de agua potable. Conjunto de estructuras, equipos, accesorios e instalaciones que tiene por objeto transformar la calidad del agua y transportarla desde la fuente de abastecimiento hasta los puntos de consumo, en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión.

Sistema de tratamiento. Denominado también como tren de tratamiento o simplemente tratamiento; es el conjunto de unidades de tratamiento dispuestas de forma tal que, son capaces de transformar el agua cruda en agua potable.

Tanque de almacenamiento. Depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución destinado a almacenar agua y/o mantener presiones adecuadas en la red de distribución.

Tanque de compensación. Depósito cuya posición relativa es tal que puede abastecer o recibir agua, y de la red de distribución.

Tanque de distribución. Componente del sistema de distribución de agua destinado a: regular las diferencias que se producen en un día entre el volumen de abastecimiento y el consumo, asegura el abastecimiento continuo durante períodos cortos de desabastecimiento y proporcionar presión al sistema de distribución.

Tanque de regulación. Depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución, destinado a almacenar el agua para compensar las variaciones de consumo.

Tanque elevado. Depósito cuya cota de fondo es superior a la cota del terreno donde se halla ubicado.

Tanque enterrado. Depósito que se sitúa enteramente en una cota inferior a la del terreno en el que está localizado.

Tanque intermedio. Depósito cuya posición relativa es tal que recibe o abastece agua a una red de distribución y alimenta siempre a otra red de distribución.

Tanque semienterrado. Depósito que presenta por lo menos un tercio de su altura total situada por debajo del nivel de terreno donde se encuentra localizado.

Tecnología alternativa. Solución técnica que permite la dotación de agua de consumo a través de instrumentos, mecanismos, construcciones y/o procedimientos simples, de bajo costo y rápida implementación. Se denomina también Tecnología Apropiada.

Tratamiento con Tecnología Apropiada. Tratamiento que evita o minimiza el uso de sustancias químicas, a objeto de garantizar sostenibilidad en la operación y mantenimiento, considerando las limitadas capacidades técnico – económicas locales. Denominado también sistema de tratamiento de tecnología apropiada.

Tratamiento convencional. Tratamiento que incluye la adición de compuestos químicos que favorecen el tratamiento, produciendo remociones de elementos y compuestos presentes en el agua. Consta de unidades de mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Se denomina también sistema convencional.

Tren de tratamiento. Conjunto de unidades de tratamiento dispuestas convenientemente que logran la depuración del agua cruda.

Tubería de conducción. Tubería comprendida entre la planta de tratamiento y/o el tanque de regulación y la red de distribución.

Tubería de entrada. Tubería que conduce el agua hacia el interior de un tanque de almacenamiento.

Tubería de impulsión. Tubería comprendida entre la salida de la bomba y el tanque de almacenamiento o red de distribución.

Tubería de limpieza. Tubería dispuesta de manera tal que permite el desagüe total y la limpieza del interior del tanque.

Tubería de salida. Tubería que conduce el agua del interior del tanque de almacenamiento hacia el sistema de alimentación o distribución.

Tubería de succión. Tubería comprendida entre la criba y la entrada a la bomba.

Tubo de revestimiento externo. Tubo de material resistente, utilizado en la etapa de perforación de un pozo.

Tubo de revestimiento interno. Tubo de material resistente utilizado para permanecer definitivamente en el pozo estableciendo una ligazón entre el filtro y la superficie.

Unidad de tratamiento. Estructura, equipos o accesorios necesarios para realizar un proceso físico - químico o biológico para la depuración del agua cruda.

Vertedero. Dispositivo que permite el rebosamiento de una cantidad determinada de agua.

Zona de lodos. Zona en la cual se acumulan los lodos y son retirados, en una unidad de tratamiento en particular.

ABREVIATURAS Y NOMENCLATURA

APHA: American Public Health Asociation.

ASTM: American Society for Testing and Material Standards.

AWWA: American Water Works Asociation.

AYNI: Prototipo de Bomba Manual.

BM: Bench Mark.

BOMPO: Bomba de Operación y Mantenimiento a nivel de Poblado.

BSI: The British Standards Institution.

ºC: Grados Celsius.

$CaCO_3$: Carbonato de calcio.

CA: Corriente Alterna.

CBH: Código Boliviano del Hormigón.

CEN: Comunidad Europea de Normalización.

CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

CNPS: Carga Neta Positiva de Succión , en inglés NPSH: Net Positive Suction Head.

CINARA: Centro Internacional de Abastecimiento y Remoción de Aguas; Universidad del Valle, Cali - Colombia.

CPISA: Coordinación de Post Grado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

cm: centímetro.

CV : Caballo Vapor.

DANT : Dirección de Área de Normas y Tecnología.

DBO_5: Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días).

DIN: Deutches Institut für Normung.

DINASBA: Ex - Dirección Nacional de Saneamiento Básico.

DMS: Distancia Mínima de Seguridad.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

FD: Filtración Directa.

F.D.A.: Filtración Directa Ascendente.

F.D.D.: Filtración Directa Descendente.

F.D.A.D.: Filtración Directa Ascendente Descendente.

FF: Fierro Fundido.

FFD: Fierro Fundido Dúctil.

FG: Fierro Galvanizado

FG: Filtración Gruesa.

FGA: Filtración Gruesa Ascendente.

FGAC: Filtración Gruesa Ascendente en Capas.

FGAS: Filtración Gruesa Ascendente en Serie.

FGD: Filtración Gruesa Descendente.

FGDi: Filtración Gruesa Dinámica.

FGDS: Filtración Gruesa de Flujo Descendente en Serie.

FGH: Filtración Gruesa Horizontal.

FiME: Filtración en Múltiples Etapas.

FLA: Filtración Lenta en Arena.

FLEXI-OPS: Prototipo de Bomba Manual.

G: Gradiente de velocidad.

GPS: Global Position System (Sistema de Posicionamiento Global).

hab/ha: habitantes por hectárea.

HºAº: Hormigón Armado.

HP : Caballo fuerza.

IBNORCA: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad.

IGM: Instituto Geográfico Militar.

IHE-Delft: International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering – Delft, The Netherlands.

INE: Instituto Nacional de Estadística.

IRC: International Research Center.

ISO: International Organization for Standarization.

km: kilómetro.

l/s: litro por segundo.

l/hab-d: Litros por habitante día

m: metros.

m.c.a.: metro columna de agua.

m.s.n.m.: metro sobre el nivel de mar.

m/s: metro por segundo.

max: máximo.

med: medio.

mg/l: miligramo por litro.

mg/m^3: miligramo por metro cúbico.

ml/l: mililitro por litro.

mm: milímetro.

NB: Norma Boliviana.

NB-512: Norma Boliviana – 512: Agua Potable Requisitos.

NB-647: Norma Boliviana – 647: Productos químicos para uso Industrial; Cal viva y cal hidratada.

NB-648: Norma Boliviana – 648: Productos químicos para uso Industrial; Cloro líquido.

NB-650: Norma Boliviana – 650: Productos químicos para uso Industrial; Sulfato de Aluminio.

N/cm^2: Newton por centímetro cuadrado.

NMP/100 ml: Número más probable por cada 100 mililitros.

OD: Oxígeno Disuelto.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

OPS: Organización Panamericana de la Salud.

pH: Potencial de Hidrógeno.

PE: Polietileno.

PEAD: Polietileno de Alta Densidad.

PET: Teleftalato de Polietileno.

PROAT: Programa de Asistencia Técnica.

PSAD: Provisional South America Data.

PVC: Polivinilo de Cloruro.

PVCU: Polivinilo de Cloruro no plastificado.

SEDAPAL: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado, Lima-Perú.

SODIS: Desinfección solar (del Inglés Solar Disinfection)

THMs: Trihalometanos.

UC: Unidades de Color.

U.C.V.: Unidad de Color Verdadero.

UFC/100 ml: Unidades Formadoras de Colonia por 100 mililitros.

UT = UTN = UNT: Unidad de Turbiedad; Unidad de Turbiedad Nefelométrica; Unidad Nefelométrica de Turbiedad.

UMSA: Universidad Mayor de San Andrés, La Paz - Bolivia.

UTM: Universal Transverse Mercator.

UV: Ultra Violeta.

VSB: Viceministerio de Servicios Básicos.

WHO: World Health Organization.

WPCF: Water Pollution Control Federation.

YAKU: Prototipo de Bomba Manual.

Anexo A (Normativo)
Criterios de calidad para la selección de la fuente

GRUPO I: Aguas que necesitan únicamente desinfección

1. Calidad bacteriológica

a) Densidad de coliformes totales. La media aritmética mensual debe ser menor que 100 por 100 ml de muestra.

b) Densidad de coliformes termorresistentes. Si se lleva a afecto la determinación de coliformes termorresistentes, la cifra de coliformes totales puede exceder de 100 por 100 ml de muestra, pero en tal caso los coliformes termorresistentes no deben exceder de 20 por 100 ml de muestra computados por la media aritmética mensual.

2. Calidad física

Debe cumplir con lo especificado en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos):

Parámetro	Valor máximo aceptable	Observaciones
Turbiedad	5 U.N.T	U.N.T. : Unidades Nefelométricas de Turbiedad
Color	15 U.C.V.	U.C.V.: Unidades de Color Verdadero (Platino – Cobalto)

3. Calidad química

Debe cumplir con lo especificado en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable - Requisitos). Deberá constatarse el contenido de sustancias tóxicas de origen inorgánico y orgánico, especialmente plaguicidas y plaguicidas totales.

4. Calidad radiológica

Debe cumplir con lo especificado en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos) – en lo que respecta radiactividad en el agua potable.

5. Tratamiento adicional

Si la calidad del agua no es “estable”, durante todo el año, según lo especificado en numerales 1, 2, 3, y 4, se le debe dar un tratamiento adicional durante el periodo en el que la calidad se deteriora.

6. Parámetros complementarios de calidad

6.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5 (mg/l)

Promedio mensual: 0,75 – 1,5
Máximo diario: 1,0 – 3,0

6.2 Oxígeno Disuelto OD (mg/l)

Concentración:	4,0 (mínima)
Saturación:	75% o mayor
pH:	6,0 – 8,5

6.3 Cloruros (mg/l)

Concentración:	< 250

GRUPO II: Aguas que necesitan tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración rápida y desinfección (postcloración) o filtración lenta y desinfección (postcloración).

1. Calidad bacteriológica

a) Densidad de coliformes totales. La media geométrica mensual debe ser menor que 3 000 por 100 ml de muestra.

b) Densidad de coliformes termorresistentes. Si se lleva a afecto la determinación de coliformes termorresistentes, la cifra de coliformes totales puede exceder de 3 000 por 100 ml de muestra, pero en tal caso los coliformes termorresistentes no deben exceder de 600 por 100 ml de muestra computados por la media geométrica mensual.

2. Calidad física

Parámetros tales como el color, turbiedad y olor contribuyen en forma significativa al tratamiento y potabilización del agua.

2.1. Color:

No se fija un límite para el color natural; este puede ser removido mediante tratamiento convencional completo.

Se debe remover la mayor parte de color mediante coagulación a bajo pH. Luego de un tratamiento completo, el color real debe cumplir lo especificado en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos).

No se consideran los colores originados por efluentes industriales, los cuales serán considerados al determinar la calidad química del agua.

El color verdadero del agua tratada será:

Valor máximo aceptable: 15 U.C.V.

2.2. Turbiedad:

La turbiedad debe permanecer en un rango tratable por medios convencionales. Cuando existen turbiedades altas, las plantas deben ser diseñadas a base de tanques presedimentadores, embalses o doble coagulación. En caso de utilizar filtros lentos los límites de turbiedad estarán en el orden de 20 U.N.T. o menos durante el 90 % del tiempo.

La turbiedad de agua tratada será:

Valor máximo aceptable: 5 U.N.T.

2.3. Olor y sabor:

El olor del agua cruda será tratado a través de aireación como un método convencional. Tanto el color y sabor deben ser aceptables por los usuarios.

3. Calidad química

El agua cruda debe cumplir con los límites recomendados en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos).

4. Calidad radiológica

Debe cumplir con lo especificado en la Norma Boliviana Agua Potable - Requisitos NB 512.

5. Parámetros complementarios de calidad

5.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5 (mg/l)

Promedio mensual: 1,51 – 2,5
Máximo diario: 3,1 – 4,0

5.2 Oxígeno Disuelto OD (mg/l)

Concentración: 4,0 (mínima)
Saturación: 60% o mayor
pH: 5,0 – 9,0

5.3 Cloruros (mg/l)

Concentración: < 250

GRUPO III: Aguas que necesitan tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración rápida y desinfección (pre y postcloración)

1. Calidad bacteriológica

a) Densidad de coliformes totales. La media geométrica mensual debe ser menor que 20 000 por 100 ml de muestra.

b) Densidad de coliformes Termorresistentes. El total de coliformes termorresistentes puede exceder de 20 000 por 100 ml de muestra, pero en tal caso los coliformes termorresistentes no deben exceder de 4 000 por 100 ml de muestra computados por la media geométrica mensual.

2. Calidad física

Debe cumplir con los mismos requisitos del Grupo I - 2

3. Calidad química

Debe cumplir con los mismos requisitos del Grupo I - 3

4. Calidad radiológica

Debe cumplir con lo especificado en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable- Requisitos).

5. Parámetros complementarios de calidad

5.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5 (mg/l)

Promedio mensual: mayor a 2.5
Máximo diario: mayor a 4,0

5.2 Oxígeno Disuelto OD (mg/l)

Concentración: 4,0 (mínima)
Saturación: menor al 60%
pH: 3.8 – 10.5

5.3 Cloruros (mg/l)

Concentración: mayor a 250 (*)

(*) Las concentraciones elevadas de cloruro hacen que el agua y las bebidas tengan sabor desagradable. Los umbrales de sabor dependen del catión asociado y son del orden de 200 mg/l a 300 mg/l para el cloruro sódico, potásico y cálcico.

GRUPO IV: Aguas que no cumplen con los requisitos bacteriológicos expresados en los grupos anteriores (aguas con concentraciones mayores a 20 000 coliformes totales o 4 000 coliformes termorresistentes por 100 ml de muestra).

No se deben utilizar estas aguas como fuente de abastecimiento. Sin embargo de no existir otras fuentes de agua disponible y dado el avance de la tecnología, podrán utilizarse después de un tratamiento adecuado. En este caso debe efectuarse un estricto control de calidad y observar en todo momento el cumplimiento de la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos), en lo referente a la calidad bacteriológica.

GRUPO V: Aguas que no cumplen con uno o más requisitos físico - químicos, radiológicos o de contenido de contaminantes orgánicos establecidos en la Norma Boliviana NB 512 (Agua potable – Requisitos).

No se deben utilizar estas aguas como fuente de abastecimiento. Sin embargo de no existir otras fuentes de agua disponible y dado el avance de la tecnología, podrá utilizarse después de un tratamiento avanzado **(procesos de membranas:** nanofiltracion, osmosis inversa; **intercambio iónico:** aniónico, catiónico; **adsorción:** carbón granular activado, carbón pulverizado activo, alúmina activada), antecedidos de un proceso de tratamiento convencional y precedidos de **desinfección;** cloración, ozonización, radiación ultra violeta entre otros. Los procesos serán seleccionados de acuerdo a la calidad del agua a tratar y deberán ser técnicamente justificados por el proyectista y dados a conocer a la Autoridad Competente.

En este caso debe efectuarse un estricto control de calidad físico – química y microbiológica del agua para asegurar que su calidad cumpla en todo momento con lo establecido en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable - Requisitos).

Anexo B (Normativo)
Caracterización de fuentes de agua

Tabla 1
Analisís básicos recomendables para la caracterización de las fuentes de agua destinadas a comsumo humano en poblaciones menores a 10 000 habitantes

Nº Parámetro	Unidad	Tiempo máximo de preservación recomendado (1)
Análisis Físicos		
1 Turbiedad	U.N.T	48 horas
2 Color	U.C. Escala Pt – Co	48 horas
3 Olor *	-	6 horas
4 Sabor *	-	24 horas
5 Temperatura	ºC	In situ
6 Sólidos totales disueltos	mg/l	14 días
7 Sólidos totales suspendidos	mg/l	6 meses
Análisis Químicos		
8 Dureza total	mg/l (Ca CO3)	6 meses
9 Calcio	mg/l	6 meses
10 Magnesio	mg/l	6 meses
11 Manganeso	mg/l	6 meses
12 Hierro	mg/l	28 días
13 Sulfatos	mg/l	6 meses
14 Cloruros	mg/l	7 días
15 Fluoruros	mg/l	48 horas
16 Nitratos	mg/l	48 horas
17 Nitritos (1)	mg/l	2 horas
18 pH	-	
Análisis Bacteriológicos		
19 Coliformes totales	NMP/100 ml ***	24 horas
20 Escherichia coli**(*E. coli*)	NMP/ 100 ml***	24 horas Las muestras deben ser conservadas a baja temperatura. Nunca congeladas.
Análisis Complementarios		
21 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5	mg/l	Realizar la determinación dentro de las 24 horas, previa conservación a 4ºC.
22 Oxígeno disuelto OD	mg/l	Fijar in situ, analizar antes de las 8 horas y no exponer la muestra directamente al sol.
23 Conductividad	mmhos/cm	Realizar la determinación dentro de las 48 horas.

(*) Debe ser inobjetable

(1) Se debe analizar en el tiempo establecido para evitar la oxidación de los mismos.

(**) Las concentraciones de coliformes termorresistentes (termotolerantes) están en relación directa con las de Escherichia coli (E. coli), por tanto pueden determinarse indistintamente y dependerá de las facilidades laboratoriales disponibles; Ref.: Guías para la Calidad de Agua Potable, OMS, Ginebra 1995.

(***) NMP/100 ml, Número Más Probable por 100 ml o UFC/100 ml, Unidades Formadoras de Colonias por 100 ml según la técnica empleada (Tubos múltiples o Membrana Filtrante).

Nota: La lista de los parámetros no está restringida, por lo que el proyectista podrá solicitar otros parámetros no especificados según las características del proyecto y los antecedentes de calidad de agua que se tengan en la zona.

Tabla 2
Valores máximos aceptables por la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable - Requisitos)

Nº Parámetro	Valor máximo aceptable	Unidad
Análisis Físicos		
1 Turbiedad	5	U.N.T
2 Color	15	U.C. Escala Pt – Co
3 Olor *	-	-
4 Sabor *	-	-
5 Temperatura *	-	ºC
6 Sólidos totales disueltos	1 000	mg/l
7 Sólidos totales suspendidos **	-	mg/l
Análisis Químicos		
8 Dureza total	500	mg/l (Ca CO3)
9 Calcio**	-	mg/l
10 Magnesio***	-	mg/l
11 Manganeso	0,1	mg/l
12 Hierro total	0,3	mg/l
13 Sulfatos	400,	mg/l
14 Cloruros	250	mg/l
15 Fluoruros	(0,6 – 1.5)****	mg/l
16 Nitritos (1) NO_3	45	mg/l
17 Nitritos (1) NO_2	0,1	mg/l
18 pH	6,5 – 9,0	-
Análisis Bacteriológicos		
19 Coliformes totales	0,0 UFC/100 ml	<2 NMP/100 ml*****
20 Escherichia coli (*E. coli*)	0,0 UFC/100 ml	< 2 NMP/ 100 ml
Análisis Complementarios		
21 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5	N.E.	mg/l
22 Oxígeno disuelto OD	N.E	mg/l
23 Conductividad	1 500	micromhos/cm

(*) Debe ser inobjetable.

(**) Guardan relación con la turbiedad.

(***) Guardan relación con la dureza total.

(****) Concentraciones mínima y máxima para diferentes temperaturas (ambiente); Véase NB 512 (Agua Potable - Requisitos).

(*****) NMP/100 ml, Número Más Probable por 100 ml o UFC/100 ml, Unidades Formadoras de Colonias por 100 ml según la técnica empleada (Tubos múltiples o Membrana Filtrante).

(1) Condición: $(NO_3 /45) + (NO_2\text{-}/0,1) < 1$

N.E.: No Especificado en la Norma NB 512. El parámetro DBO_5 servirá como comprobación de contaminación microbiológica, posibilidad de conexiones cruzadas. El parámetro Oxígeno disuelto > 4 mg/l garantiza posibilidad de vida acuática (aguas superficiales de calidad admisible, a excepción de las aguas subterráneas). El parámetro conductividad guarda relación con el contenido iónico total (sales disueltas), valores superiores pueden influir en la apariencia, el sabor o el olor del agua (Guías OPS/OMS).

Anexo C (Normativo)
Trabajos Topográfricos

1. INTRODUCCIÓN

a) Los trabajos topográficos destinados a diseño y elaboración de proyectos de agua potable deben satisfacer y regirse a lo indicado en el presente Anexo.

b) Para realizar trabajos topográficos en zonas donde se implementarán proyectos de agua potable, se debe recabar previamente, la información básica, de instituciones públicas y privadas (Alcaldías, Prefecturas, Subprefecturas y otras como el Instituto Geográfico Militar IGM), como ser planimetrías, nivelaciones, fotos aéreas, cartas geográficas, planos reguladores, catastrales y toda información necesaria para interpretar y desarrollar los trabajos topográficos.

c) Cuando se cuente con levantamientos y restituciones aerofotogramétricas se debe utilizar ésta información, para la cual se establecerán y conformarán los puntos de control utilizados en la elaboración de los mismos.

d) Todo trabajo de topografía se debe iniciar con referencia a un Bench Mark (BM) del Instituto Geográfico Militar (IGM). Las estaciones topográficas del proyecto, deben tener cotas de elevación obtenidas obligatoriamente por nivelación directa, arrastrados desde el BM.

e) En caso de no existir un BM en la zona del proyecto, o el BM esté a una distancia tal que impida un fácil acceso y/o arrastre, o sea incompatible con la magnitud del proyecto, se debe iniciar el trabajo definiendo e indicando un punto fijo y permanente, cuya cota y coordenadas serán asumidas en concordancia a la información básica y/o determinados en campo (utilizando un altímetro o un GPS navegador). Este punto (Ec) será la estación de partida y podrá ubicarse en sitio difíciles de remover o deteriorar (puentes vehiculares, la base de una estatua, plaza, edificios públicos y similares).

f) Los estudios preliminares, estudios a diseño final requeridos en la elaboración de proyectos de diseño de sistemas de agua potable en todos sus componentes deben ser realizados con la precisión señalada en el numeral 6, indicado en el presente Anexo.

g) Para representar en un plano, la configuración física de los sitios geográficos, se debe emplear un método de levantamiento topográfico y disponer de equipos apropiados al proyecto para efectuar: poligonación, triangulación, trilateración, nivelación directa, radiación taquimétrica o métodos combinados que sean complementarios.

h) Toda información y levantamientos topográficos deben ser necesariamente verificados en el terreno.

i) Para el replanteo posterior del proyecto, el responsable dejará en la localidad, BMs auxiliares y/o estaciones de la poligonal básica en lugares fijos, o mojones permanentes de hormigón (con mezcla de dosificación 1:3:6), de forma cilíndrica a una altura total de 40 cm y diámetro de 15 cm, enterrados una profundidad mínima de 30 cm y que sobresalgan 10 cm. Deberán ser anclados en el terreno a través de barras metálicas, hincadas antes del vaciado del mortero. En caso de disponer de mojones prefabricados, estos serán de 25 cm de altura, debiendo enterrarse 15 cm y sobresalir 10 cm, los cuales

serán embebidos en una plataforma de mortero de 25 cm x 25 cm con una mezcla de hormigón cuya dosificación sea 1:3:6.

j) En el centro de la cara superior del mojón debe insertarse un elemento metálico (placa de bronce) para señalar el punto de la estación.

k) Se seguirá la anterior indicación para poligonales que abarquen los componentes principales del proyecto. En poligonales secundarias las estaciones pueden ser también estacas de madera, cubiertas con pintura y convenientemente protegidas.

l) Los mojones y estacas deben ser identificados y localizados con pintura al aceite de color que contraste con el medio (amarillo, verde, rojo u otros). Se deben señalar las marcas con letras legibles y seguida del número correspondiente a la estación (por ejemplo E – 30), en dimensiones de 50x50 cm y en un lugar visible; la numeración no debe repetirse en el mismo proyecto.

2. PLANIMETRÍA

a) Se puede definir una o más poligonales primarias cerradas, de acuerdo a la extensión del área del proyecto, con 2 (dos) puntos geodésicos como mínimo (uno de partida), con puntos de coordenadas absolutas conocidas determinadas a través de GPS topográfico. El enlace o la liga a los puntos geodésicos deben realizarse por alguno de los métodos de medición de ángulos horizontales para mejorar la precisión de los mismos.

b) La línea poligonal principal puede ser medida por el método teodolito – cinta metálica.

c) La línea poligonal principal puede ser medida con Estación Total, por taquimetría electrónica, requiriéndose 2 lecturas obligadas y una tercera opcional de comprobación.

d) En los casos que se quiera realizar una poligonal cerrada para obtener la representación del poblado, ésta debe estar en el perímetro exterior de la zona urbanizada y anexa a las áreas de expansión, las restantes poligonales se deben ubicar de acuerdo al criterio del ingeniero proyectista; debe tomar los ángulos por doble lectura y utilizar el promedio para fines de verificación y representación gráfica. Toda poligonal debe cerrarse con la tolerancia indicada en el punto 6 del presente anexo.

e) En las poligonales deben anotarse los valores resumen de ángulos y distancias, así como los valores de enlace o liga a la red y se realizarán los cálculos de coordenadas.

f) En poligonales secundarias (abiertas), deben levantarse fajas laterales con un ancho no menor a 25 m a cada lado en zonas no urbanizadas y poblaciones dispersas; en regiones urbanizadas, el ancho de faja debe ser hasta los límites de los predios.

3. ALTIMETRÍA

a) La cota de partida para las nivelaciones necesarias, se debe tomar con referencia a un BM del IGM, o lo establecido en el punto 1, inciso e)

b) La nivelación de la poligonal con relación al BM debe ser directa y cerrada, arrastrando la cota del BM de partida hasta el siguiente o hasta el punto de la poligonal base.

c) La nivelación debe realizarse con nivel de ingeniero.

d) Excepcionalmente, en trabajos cuya extensión no sea mayor a las 5 hectáreas y no requieran de precisión por la naturaleza del mismo, la nivelación podrá realizarse con teodolito por medio de nivelación trigonométrica recíproca con doble lectura. La realización de este método de nivelación debe ser aprobada por el encargado de obra.
e) La nivelación para el enlace de la línea poligonal principal al BM y las poligonales secundarias a las principales, deben cumplir los requerimientos señalados en el punto 6, inciso g).

f) Deben definirse puntos o estaciones de referencia de elevación conocida, a distancias intermedias de aproximadamente 500 m, de modo que haya dos por cada kilómetro de poligonal, usando de referencia y de ser posible, sitios de carácter permanente y localizándolos con respecto a la poligonal básica.

g) La lectura de la mira no se hará a más de 50 m de distancia.

h) En las áreas destinadas para la construcción de plantas potabilizadoras de agua, se deben efectuar nivelaciones a lo largo y ancho del área proyectada, levantando perfiles transversales al menos cada 50 m. Se dejarán mojones de nivelación distribuidos en el perímetro del área destinada a la infraestructura a distancias no mayores a los 50 m.

i) Se deben levantar los perfiles transversales de todas y cada una de las vías existentes o futuras en zonas urbanizadas o por urbanizar, que estén comprendidas en el área del proyecto.

4. TAQUIMETRÍA

a) El método taquimétrico debe emplearse para levantar los puntos de manera tal que sirvan para obtener la mejor representación de los detalles necesarios para la elaboración de los proyectos. Para este efecto partiendo de una poligonal principal o secundaria, se debe efectuar el levantamiento tomando los puntos más representativos, puntos de cambios de dirección de vías y similares, cambios de pendiente, montículos, depresiones en el terreno y detalles plano - altimétricos en general.

b) El número generador de todos los puntos debe ser calculado previa anotación de la lectura estadimétrica. Todos los puntos representativos de características físicas de la zona deben ser identificados en la primera casilla de la libreta.

e) En caso de emplear el método de taquimetría por radiación, se debe realizar con lecturas angulares a partir de estaciones de las poligonales. Debe anotarse simple o doble lectura, según precisión requerida, para los ángulos horizontales propios, utilizando el promedio así como también realizar las mediciones en posición directa e invertida del instrumento.

f) Los detalles más importantes se levantarán con cinta metálica y los ángulos horizontales y verticales con teodolito.

g) Los puntos visados deben estar a distancias no mayores a 150 m de los instrumentos.

5. REGISTRO DE DATOS (LIBRETA DE CAMPO)

a) En la libreta de campo se deben dibujar croquis explicativos lo más ajustados a la realidad.

b) Se deben efectuar anotaciones acerca del tipo y/o calidad del terreno en cada zona debiéndose también indicar los límites de predios o parcelas, señalando si se trata de muros, cercas de alambres de púas u otros.

c) Las anotaciones que resulten incorrectas, en el momento de realizar los levantamientos no deben ser borrados sino marcadas con una línea diagonal sobrepuesta, anotando nuevamente la correcta. En caso de que toda la página o un sector del trabajo se encuentren incorrectos, este se tachará completamente, indicándose además con la palabra NULO O ANULADO y comenzando a renglón seguido a anotar el trabajo correcto; si esto ocurre, se debe indicar con la nota correspondiente y se señalará en el índice de la misma.

d) Debe emplearse para las anotaciones, libretas de nivelación marcadas con un número ordinal en la tapa, nombre y título del proyecto, nombre del proyectista, del topógrafo y del supervisor así como la fecha y equipo utilizado. Todas las páginas deben ser numeradas. Cada libreta llevará en sus primeras páginas un índice del contenido de las mismas así como la numeración completa de ésta.

e) Todos los puntos representativos de características físicas de la zona deben ser identificados en la primera casilla de la libreta.

6. PRECISIÓN REQUERIDA

La precisión de los levantamientos topográficos debe ajustarse a los siguientes límites:

a) Error angular permisible para cierre de poligonales principales:

$$Eap = 15'' * \sqrt{N}$$

Donde: Eap Error admisible en segundos.
N Número de ángulos en el polígono

b) Error angular permisible para cierre de poligonales secundarias:

$$Eas = 25'' * \sqrt{N}$$

Donde: Eas Error admisible en segundos.
N Número de ángulos en el polígono

c) Error longitudinal permisible para cierre de poligonales principales:

$$Elp = 1:5000$$

Donde: Elp Error longitudinal permisible

d) Error longitudinal permisible para poligonales secundarias:

$$Els = 1:3000$$

Donde: Els Error longitudinal permisible

e) Error permisible de nivelación directa de poligonales principales:

$$Enp = 10mm * \sqrt{L}$$

Donde: Enp Error permisible de nivelación directa en milímetros.
L Longitud nivelada (Nº de km).

f) Error permisible de nivelación directa de poligonales secundarias:

$$Ens = 20mm * \sqrt{L}$$

Donde: Ens Error permisible de nivelación directa en milímetros.
L Longitud nivelada (Nº de km).

g) Error permisible de nivelación para enlace de poligonal con BM:

$$Ene = 10mm * \sqrt{L}$$

Donde: Ene Error permisible en nivelación en milímetros.
L Longitud nivelada (Nº de km)

7. INSTRUCCIONES GENERALES

a) El equipo a utilizar debe estar convenientemente calibrado y en buen estado de mantenimiento.

b) El topógrafo debe hacer el levantamiento de acuerdo a las instrucciones emanadas del encargado del proyecto, siendo éste quién indicará cuales son las fuentes de abastecimiento, sitios de captación, posibles líneas de aducción e impulsión, redes de distribución, con sus alternativas de ubicación y lugares adecuados.

c) Los sitios de toma o de captación de posibles fuentes de suministro y/o plantas de tratamiento se deben levantar detalladamente, de manera que se pueda representar gráficamente el terreno, conocer su ubicación y configuración con precisión, con poligonales cuyas tolerancias de cierre se indican en el punto 6 según corresponda.

d) Las posibles líneas de aducción e impulsión deben ser levantadas por medio de poligonales abiertas que tengan las precisiones de la poligonal principal del poblado y estén enlazadas a la misma, tomando puntos intermedios que indiquen los desniveles o perfiles del terreno.

e) De acuerdo a la apreciación o instrucciones superiores, en el lugar donde pudiese convenir ubicar un tanque de regulación y obras de arte, se debe proceder a realizar el levantamiento de una zona de cierta amplitud que permita el dibujo de curvas de nivel con bastante precisión y la elección de la cota definitiva.

f) El trazado de redes de agua, se debe realizar con preferencia por vías públicas, evitando expropiaciones y servidumbres de paso en propiedades privadas. En caso de no poder evitar estos pasos, se debe medir la zona afectada (señalando los vértices con estacas o mojones), rigiéndose a disposiciones legales de la alcaldía del lugar.

g) Las variantes de vías públicas, se justificarán cuando existan pasos inaccesibles (infraestructura existente, ríos y cauces profundos), evitando cruces directos con obras demasiado costosas.

h) En caso de cruce de cursos de agua se obtendrán secciones transversales, cada 20 m en 50 m de longitud del río, determinando el nivel de agua y registrando la fecha.

i) Debe obtenerse detalles plani-altimétricos (perfiles transversales y/o longitudinales) de cruces de vías públicas donde existan puentes vehiculares y peatonales, canales, ductos y otras obras civiles, que puedan utilizarse para el paso de la tubería proyectada.

j) Se deben completar los trabajos, midiendo con cinta métrica el ancho de vías, caminos, calles, avenidas y otros puntos representativos.

k) Cuando se considere aprovechable la infraestructura existente en uno o varios componentes, se debe efectuar un relevamiento.

l) Para redes de agua potable, se obtendrán datos sobre los ejes de tubería, profundidad de la solera, puntos de ubicación de cambios de dirección o pendiente, válvulas en general, material, longitud, diámetro y estado de tuberías.

8. CÁLCULOS TOPOGRÁFICOS

a) Todo cálculo topográfico debe iniciarse verificando que la poligonal levantada en el campo está dentro de los límites de errores señalados con las fórmulas ya expresadas, referidas a cierres de ángulos, distancias y altimetría. Si la poligonal es abierta, se debe hacer la revisión de los azimutes, comparando el de arrastre o conservación con el de los puntos geodésicos en una estación dada.

b) Si con los valores anotados en la libreta no se pueden cumplir las condiciones anteriormente indicadas, debe procederse a rehacer el levantamiento en forma total o parcial según el caso.

c) Se debe proceder al cálculo de las coordenadas de acuerdo con las prácticas topográficas.

d) Los ángulos registrados en la libreta, deben ser comparados con los ángulos resultantes de los cálculos, determinados a partir de las coordenadas de las estaciones de la poligonal principal. La planilla de cálculos de coordenadas, debe ser presentada adjunta al proyecto, indicando el método de cálculo y nombre del responsable.

e) En caso de realizar el trabajo topográfico con Estación Total, se deberá adjuntar la memoria y la información de respaldo en medio magnético.

Anexo D (Normativo)
Procesos de tratamiento
Tabla 1.
Efectividad general de los procesos de tratamiento de agua para remoción de contaminantes solubles .

Características	Aireación	Coagulación sedimentación o filtración	Ablandamiento con cal	Oxidación química y desinfección	Carbón granular activado	Carbón pulverizado activo	Alúmina activada
Inorgánicos							
Antimonio *							
Arsénico (+3)		XO	XO				X
Arsénico (+5)		X	X				X
Bario			X				
Cadmio		X	X				
Cromo (+3)		X	X				
Cromo (+6) *							
Cianuro				X			
Fluoruro			X				X
Plomo *							
Mercurio (inorgánico)			X				
Níquel			X				
Nitrato-nitrito *							
Selenio (+4)		X					X
Selenio (+6)							X
Orgánicos							
Volátiles orgánicos	X				X		
Orgánicos sintéticos					X	X	
Pesticidas / herbicidas					X	X	
Carbono orgánico Disuelto		X			X	X	
Parámetros que causan problemas estéticos							
Dureza			X				
Hierro		XO	X				
Manganeso		XO	X				
Sólidos Totales Disueltos *							
Cloruro *							
Sulfato *							
Zinc			X				
Color		X		X	X	X	
Olor y Sabor	X			X	X	X	

X = Proceso apropiado para el parámetro.

XO = Proceso apropiado cuando se usa conjuntamente la oxidación.

* = Parámetros que para su remoción requieren procesos avanzados:

Procesos de membrana; (nanofiltración, osmosis inversa, electro diálisis inversa)

Intercambio iónico (aniónico - catiónico)

(Adaptado de: Guía para la Selección de Procesos de Tratamiento de Agua; AWWA 2002).

AGRADECIMIENTO

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas, a través del Viceministerio de Servicios Básicos, expresa su agradecimiento a todas las instituciones y profesionales que de manera desinteresada hicieron posible la actualización de la presente Norma, en forma especial se agradece a:

Arq. Jorge Carrasco
DIRECTOR EJECUTIVO - FPS

Dr. Alfonso Garcia
PRESIDENTE EJECUTIVO - FNDR

Ing. Johnny Cuellar
SUPERINTENDENTE DE SANEAMIENTO BASICO – SISAB

Ing. Ronny Vega
GERENTE GENERAL - ANESAPA

Lic. Kory Eguino
DIRECTORA EJECUTIVA - IBNORCA

Sr. Torsten Weterblad
CONSEJERO JEFE DE COOPERACION – EMBAJADA DE SUECIA

Lic. Isabel Ascarrunz
OFICIAL DE PROGRAMAS - Asdi

IBNORCA: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

IBNORCA creado por Decreto Supremo Nº 23489 de fecha 1993-04-29 y ratificado como parte componente del Sistema Boliviano de la Calidad (SNMAC) por Decreto Supremo Nº 24498 de fecha 1997-02-17, es la Organización Nacional de Normalización responsable del estudio y la elaboración de Normas Bolivianas.

Representa a Bolivia ante los organismos Subregionales, Regionales e Internacionales de Normalización, siendo actualmente miembro activo del Comité Andino de Normalización CAN, del Comité Mercosur de Normalización CMN, miembro pleno de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas COPANT , miembro de la International Electrotechnical Commission IEC y miembro correspondiente de la International
Organization for Standardization ISO.

Revisión

Esta norma está sujeta a ser revisada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

Características de aplicación de Normas Bolivianas

Como las normas técnicas se constituyen en instrumentos de ordenamiento tecnológico, orientadas a aplicar criterios de calidad, su utilización es un compromiso conciencial y de responsabilidad del sector productivo y de exigencia del sector consumidor.

Información sobre Normas Técnicas

IBNORCA, cuenta con un Centro de Información y Documentación que pone a disposición de los interesados Normas Internacionales, Regionales, Nacionales y de otros países.

Derecho de Propiedad

IBNORCA tiene derecho de propiedad de todas sus publicaciones, en consecuencia la reproducción total o parcial de las Normas Bolivianas está completamente prohibida.

Reglamento Nacional

NB 689

REPÚBLICA DE BOLIVIA

MINISTERIO DEL AGUA
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable

Volumen 1 de 2

Segunda revisión
Diciembre 2004

Reglamento Nacional NB 689

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

REGLAMENTOS TÉCNICOS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Volumen 1 de 2

Segunda revisión

Diciembre 2004

PREFACIO

La presente actualización de los "Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable", de la Norma NB 689: "Instalaciones de agua - Diseño para sistemas de agua potable", que sustituye a los correspondientes Reglamentos editados en noviembre de 1996, fue realizada por el Viceministerio de Servicios Básicos, a través de la Dirección General de Servicios Básicos, a cargo del Ing. MSc. Alvaro Camacho Garnica, bajo la coordinación del Ing. Alcides Franco, Director del Area de Normas y Tecnología (DANT) del MSOP, y la supervisión del Ing. MSc. Marco Quiroga, Coordinador General del Proyecto de Asistencia Técnica (PROAT).

La elaboración de este documento estuvo a cargo de la Consultora Aguilar & Asociados y fue supervisada por el Comité Técnico, integrado por los siguientes profesionales e instituciones:

COMITE TECNICO

Alcides Franco	DANT / VSB	Ronny Vega	ANESAPA
Marco Quiroga	VSB / PROAT	Evel Álvarez	AISA
Marina Dockwailer	FPS Nacional	José Luís Castagné	ABIS
Frady Torrico	FPS Nacional	Gonzalo Dalence E.	IBNORCA
Edson Valda	FNDR		
Carlos Gámez	SISAB		

La revisión de los Reglamentos se realizó en talleres regionales con la participación de los siguientes profesionales e instituciones:

Edwin Laruta	VSB	Manuel Elías	EMPRESA MISICUNI
Jorge Calderón	VSB	José Díaz	IIS-UMSA
Enrique Torrico	VSB	Francisco Bellot	IIS-UMSA
Susana Jaramillo	VSB	Edwin Astorga	IIS-UMSA
Reynaldo Villalba	VSB	Gregorio Carvajal	IIS-UMSA
Wilma Montesinos	VIPFE	Oscar Moscoso	CASA-UMSS
Erico Navarro	PROAGUAS	Oddin Chávez	UAGRM
Jorge Flores	SISAB	Roñando Tardío	UAGRM
Marco Reyes	FPS La Paz	Franz Choque	ABIS Cochabamba
Marco Gómez	FPS La Paz	Zoilo Cordero	ABIS Cochabamba
Oswaldo Valverde	FPS La Paz	Juan Carlos Holters	ABIS Santa Cruz
Ramiro Iporre	FPS Cochabamba	Víctor Rico	CARE
Mario Arnez	FPS Cochabamba	José Antonio Zuleta	UNICEF
Eduardo Cuestas	FPS Santa Cruz	Marcelo Encalada	Fundación SODIS
Ramiro Plaza	FPS Santa Cruz	Grover Calicho	PRODASUB - JICA
Edson Zelada	UNASBVI Cochabamba	Roger Mattos	Empresa GLOBAL
Percy Soria Galvarro	UNASBVI Oruro	Gery Irusta	SED FMC
Romel Chávez	Prefectura Santa Cruz	Adolfo Mantilla	SED FMC
Juan Carlos Guzmán	HAM Cochabamba	Leocanio Mendoza	CONAM SRL
Jhonny Pérez	HAM Vinto - Cochabamba	Rolando Nogales	CONAM SRL
Daniel Flores	HAM Vinto - Cochabamba	Pedro Lino	CEDEAGRO
Mario Severich	HAM Colcapirhua - Cochabamba	Jorge Saba	APSAR
Juan Carlos Agudo	SAMAPA	Heinar Azurduy	PROHISABA
Ricardo Ayala	SEMAPA	Orlando Ortuño	DASOC
Carlos Guardia	SEMAPA	Miguel Moreno	SAE LABS ECO SERVI
Rolando Montenegro	COSPHUL	Humberto Cordero	Profesional independiente
Rolando De Chazal	SAGUAPAC	Oscar Álvarez	Profesional independiente
Fernando Trigo	SAGUAPAC		

ELABORACIÓN: AGUILAR & ASOCIADOS S.R.L.

Humberto Cáceres	Gerente de Saneamiento
Carlos España Vásquez	Consultor
Grover Rivera B.	Consultor
Iván Alvarez	Diseño Gráfico

FINANCIADOR:

Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Asdi)

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº Nº 104

La Paz 11 DIC 2007

CONSIDERANDO:

Que, el literal e) del Artículo 3º de la Ley Nº 3351, de 2 de febrero de 2006, Ley de Organización del Poder Ejecutivo, establece como atribución general de los Ministros: "Dictar normas relativas al ámbito de su competencia y resolver en última instancia, todo asunto administrativo que corresponda al Ministerio".

Que, el literal c) del Artículo 4º de la Ley Nº 3351 Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de 21 de febrero de 2006, establece que es atribución específica del Ministro del Agua, plantear y ejecutar, evaluar y fiscalizar las políticas y planes de servicio de agua potable y saneamiento básico, riego y manejo de cuencas, aguas internacionales y transfronterizas.

Que el Artículo 61 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, establece que en la estructura del Ministerio del Agua, es la siguiente: Viceministerio de Servicios Básicos, Viceministerio de Riego y Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos.

Los literales d) y e) del Artículo 63 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, dispone que son funciones del Viceministro de Servicios Básicos, entre otras, las siguientes: d) Promover normas técnicas, disposiciones reglamentarias e instructivos para el buen aprovechamiento y regulación de los servicios básicos y proponer por conducto regular proyectos de leyes y otras disposiciones para el sector; e) Difundir y vigilar la aplicación de políticas, planes, proyectos y normas técnicas para el establecimiento y operación de los servicios básicos, ejerciendo tuición sobre la Superintendencia de Saneamiento Básico.

Que, el objetivo fundamental de la Norma y sus Reglamentos Técnicos es estandarizar el diseño y optimizar costos de inversión para permitir el acceso a los servicios de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales a un mayor número de personas, priorizando sectores sociales de menores ingresos económicos.

Que, la Norma y sus Reglamentos Técnicos recogen en la presente versión experiencias de la práctica moderna de la ingeniería sanitaria y de la utilización de tecnologías alternativas en el país, transmitida y consensuada mediante un proceso de amplia participación y consulta con profesionales del país.

Que, es necesaria la edición, reimpresión y difusión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, para permitir su aplicación por parte de los profesionales del sector con carácter obligatorio en el ámbito urbano y rural del país.

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

Que, de acuerdo a los Informes VSB/UNI 016/2007 y VSB/UNI – 21/07, la Unidad de Normas e Institucionalidad, del Viceministerio de Servicios Básicos del Ministerio del Agua, recomienda la edición e impresión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, solicitando dar curso a la aprobación de la norma precitada así como a sus reglamentos.

POR TANTO:

El Ministro del Agua, en aplicación de sus atribuciones conferidas por ley.

RESUELVE:

Artículo 1º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "A".

Artículo 2º.- Aprobar los Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable, en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "B"

Artículo 3º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "C".

Artículo 4º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "D".

Artículo 5º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras", que forman parte de la presente Resolución como Anexo "E".

Artículo 5º.- Aprobar el Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, que forman parte integrante de la presente Resolución como Anexo "F".

Artículo 6º.- La Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, aprobadas mediante la presente Resolución Ministerial, deberán ser obligatoriamente aplicadas en todo el territorio nacional, por instituciones y profesionales del sector, en el diseño de sistemas de agua potable.

Artículo 7º.- Se autoriza al Viceministerio de Servicios Básicos para que en coordinación con la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua proceda a la edición, reimpresión, difusión y distribución en forma gratuita de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, a Municipios, Entidades e Instituciones públicas y privadas, bibliotecas universitarias, sociedades de profesionales, programas y proyectos del sector y otros priorizados por el Viceministerio de Servicios Básicos.

Artículo 8º.- El Viceministerio de Servicios Básicos y la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 9º.- Se abroga la Resolución Ministerial Nº 230/2004, de 07 de septiembre de 2004, emitida por el Ministerio de Servicios y Obras Publicas. Quedan abrogadas y derogadas todas las resoluciones contrarias a la presente Resolución Ministerial.

Regístrese, comuníquese, cúmplase y archívese.

Alcides Franco Torrico
VICEMINISTRO DE SERVICIOS BASICOS E.I.
MINISTERIO DEL AGUA

Walter Valda Rivera
MINISTRO DEL AGUA

Calle Capitán Castrillo Nº 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

PRESENTACIÓN

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas, a través del Viceministerio de Servicios Básicos, en el marco de sus competencias normativas, pone a disposición de los profesionales del país los presentes “Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable”, actualizados tomando en cuenta los avances tecnológicos y los requerimientos del Sector en Bolivia.

Los presentes Reglamentos tienen como objetivo fundamental orientar el diseño y consecuentemente la construcción de los sistemas de agua potable, para asegurar la entrega de obras de calidad que faciliten la provisión de un servicio adecuado que perdure en el tiempo, mejorando las condiciones de vida y salud del ciudadano boliviano.

Estos Reglamentos deben ser conocidos y aplicados de forma obligatoria por los responsables del diseño e implementación de proyectos de abastecimiento de agua potable, a nivel urbano, periurbano y rural. En los presentes Reglamentos se han incluido nuevos conceptos y criterios de diseño acordes con los adelantos tecnológicos y prácticas de la ingeniería sanitaria, de manera que puedan ser aplicados en proyectos de agua potable a nivel urbano, periurbano y rural.

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas valora el esfuerzo y dedicación de los profesionales e instituciones que de manera desinteresada contribuyeron para que nuestro país cuente con este valioso instrumento técnico.

INTRODUCCION

El diseño de sistemas de agua potable para poblaciones urbanas, periurbanas y rurales de la República de Bolivia, se ha venido desarrollando en base a la Norma Técnica de Diseño para Sistemas de Agua Potable - NB 689 y a los Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable promulgadas por el entonces Ministerio de Desarrollo Humano, en noviembre del año 1996.

Debido a los avances tecnológicos sobre el diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable que se han dado en los ultimos años, el Ministerio de Servicios y Obras Públicas, a través del Viceministerio de Servicios Básicos, ha encarado la actualización de la Norma NB 689 y sus Reglamentos, con el propósito de incorporar y modificar conceptos, criterios y fórmulas que se ajusten a la realidad actual para el diseño de sistemas de agua potable en nuestro país. Para el efecto, se han tomado en cuenta las inquietudes de instituciones, profesionales y técnicos que trabajan en el sector.

OBJETO

Los presentes Reglamentos establecen los criterios técnicos de diseño de sistemas de agua potable de carácter público y/o privado, en el área urbana, periurbana y rural para obtener obras con calidad, seguridad, durabilidad y economía; y de esa manera, contribuir al mejoramiento del nivel de vida y salud de la población.

CAMPO DE APLICACIÓN

Estos Reglamentos se aplican a nivel nacional para el diseño, ejecución o control de sistemas de agua potable públicos y/o privados.

Es obligatorio el conocimiento y aplicación de los Reglamentos por el proyectista, ejecutor, supervisor y fiscalizador de los proyectos de agua potable. Sin embargo, se podrán aplicar criterios de diseño, constructivos y métodos de control no especificados en los presentes toda vez que se justifiquen técnicamente ante la Autoridad Competente.

ÍNDICE GENERAL

VOLUMEN 1

REGLAMENTO TÉCNICO DE ESTUDIOS Y PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE 9

REGLAMENTO TÉCNICO DE FUENTES PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE 33

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE OBRAS DE CAPTACIÓN PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE.....49

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE POZOS PROFUNDOS PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE 99

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE ADUCCIONES PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE.....123

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE.....211

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE.....249

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE.....277

REGLAMENTO TÉCNICO DE VÁLVULAS, TUBERÍAS Y ACCESORIOS PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE 319

GLOSARIO DE TÉRMINOS, NOMENCLATURA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 335

VOLUMEN 2

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO PARA PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA.....359

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE DESINFECCIÓN PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE 533

GLOSARIO DE TÉRMINOS, NOMENCLATURA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 553

Reglamento Nacional NB 689

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

REGLAMENTO TÉCNICO DE ESTUDIOS Y PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Segunda revisión

Diciembre 2004

ÍNDICE

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES 13
1.1 OBJETO 13
1.2 CAMPO DE APLICACIÓN 13
1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO 13

CAPÍTULO 2
ESTUDIOS BÁSICOS DE DISEÑO 14
2.1 DEFINICIÓN 14
2.2 ESTUDIOS TÉCNICOS 14
2.2.1 Evaluación de las posibles fuentes de agua 14
2.2.2 Evaluación de la cuenca 14
2.2.3 Reconocimiento geológico del área del proyecto 14
2.2.4 Estudios de suelos y geotécnicos 14
2.2.5 Trabajos topográficos 15
2.2.6 Evaluación del estado del sistema de abastecimiento de agua 16
2.3 ESTUDIOS SOCIO-ECONÓMICOS Y CULTURALES 16
2.4 ESTUDIOS AMBIENTALES 16

CAPÍTULO 3
PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO 17
3.1 DEFINICIÓN 17
3.2 POBLACIÓN DE PROYECTO 17
3.2.1 Métodos de cálculo 17
3.2.2 Aplicación 18
3.2.3 Criterio del proyectista 19
3.2.4 Correcciones a la población calculada 19
3.2.5 Area del proyecto 19
3.3 CONSUMO DE AGUA 19
3.3.1 Dotación media diaria 19
3.3.2 Dotación futura de agua 20
3.4 CAUDALES DE DISEÑO 21
3.4.1 Caudal medio diario 21
3.4.2 Caudal máximo diario 21
3.4.3 Caudal máximo horario 21
3.4.4 Caudal industrial 22
3.4.5 Demanda contra incendios 22
3.5 PERÍODO DE DISEÑO 22

ANEXOS

ANEXO “A”
TRABAJOS TOPOGRÁFICOS 25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de estudio en función del componente de sistema y la población 15
Tabla 2. Aplicación de los métodos de cálculo para la estimación de la población futura 18
Tabla 3. Dotación media diaria (l/hab-d).....20
Tabla 4. Valores del Coeficiente k_2.....22
Tabla 5. Período de diseño (años) 23

PARTICIPANTES

Las Instituciones y profesionales que participaron en la revisión y actualización del presente Reglamento fueron los siguientes:

Alvaro Camacho	Director General de Servicios Básicos VSB
Alcides Franco	Director de Area de Normas y Tecnología VSB
Marco Quiroga	Coordinador General PROAT
Edwin Laruta	VSB
Marco Gómez	FPS La Paz
Oswaldo Valverde	FPS La Paz
Frady Torrico	FPS La Paz
Eduardo Cuestas	FPS Santa Cruz
Edson Valda	FNDR
Wilma Montesinos	VIPFE
Carlos Gámez	SISAB
Romel Chávez	Prefectura Santa Cruz
Daniel Flores	HAM Vinto
Ronny Vega	ANESAPA
Evel Álvarez	AISA
Juan Carlos Agudo	SAMAPA
Víctor Rico	CARE
Franz Choque	ABIS Cochabamba
Leocanio Mendoza	CONAM SRL
Rolando Nogales	CONAM SRL
Pedro Lino	CEDEAGRO
Grover Calicho	PRODASUB - JICA

ELABORACIÓN
AGUILAR & ASOCIADOS S.R.L.

Humberto Cáceres	Gerente de Saneamiento Básico
Carlos España	Consultor
Grover Rivera	Consultor
Iván Alvarez	Diseño Gráfico

FINANCIADOR
Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el desarrollo (Asdi)

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES

1.1 OBJETO

(1) El presente Reglamento tiene por objeto establecer los estudios básicos, fijar parámetros y criterios técnicos mínimos, que se deben cumplir en el diseño de sistemas de agua potable.

1.2 CAMPO DE APLICACIÓN

(1) Este Reglamento se aplica a nivel nacional para el diseño, ejecución o control de sistemas de agua potable públicos y/o privados.

(2) Es obligatorio el conocimiento y aplicación del Reglamento de Estudios y Parámetros Básicos de Diseño, por el proyectista, ejecutor, supervisor y fiscalizador de la obra. Sin embargo, se podrán aplicar criterios de diseño, de construcción y métodos de control no especificados en el presente reglamento, toda vez que se justifiquen técnicamente ante la Autoridad Competente.

1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

(1) La elaboración de los estudios y parámetros básicos de diseño comprenden las siguientes actividades:

a) Obtener información acerca de las características de la población del proyecto.
b) Efectuar un reconocimiento del área del proyecto que incluya las fuentes de abastecimiento.
c) Establecer los estudios: técnicos, socio-económicos, culturales y ambientales que son necesarios para el desarrollo del proyecto.
d) Definir los parámetros de diseño: población, dotación, caudales de diseño, área de proyecto y período de diseño.

CAPÍTULO 2
ESTUDIOS BÁSICOS DE DISEÑO

2.1 DEFINICIÓN

(1) Los estudios básicos de diseño, son un conjunto de procedimientos necesarios para el desarrollo del proyecto, los cuales son obtenidos en base a estudios de campo, recolección de información técnica, económica, social, ambiental y cultural de la población a ser beneficiada por el proyecto.

2.2 ESTUDIOS TECNICOS

2.2.1 Evaluación de las posibles fuentes de agua

(1) Para la evaluación de las posibles fuentes de agua es necesario:

a) Estudiar y/o analizar los posibles puntos de captación.
b) Establecer la cantidad y calidad del agua.
c) Determinar el estado legal de la fuente.
d) Ubicar la fuente respecto a la población (distancia y diferencia de nivel).

2.2.2 Evaluación de la cuenca

(1) Se deben evaluar las cuencas en las que se encuentran las posibles fuentes. Para éste estudio se debe:

a) Determinar los recursos hídricos existentes en la cuenca.
b) Establecer la continuidad del recurso en el tiempo.
c) Ubicar puntos de contaminación.
d) Ubicar otros proyectos en ejecución.

2.2.3 Reconocimiento geológico del área del proyecto

(1) Se debe realizar un reconocimiento geológico del lugar en el que se encuentra el proyecto.

(2) Se deben determinar las posibles fallas geológicas, zonas de deslizamiento y de hundimiento.

2.2.4 Estudios de suelos y geotécnicos

(1) Los estudios de suelos y geotécnicos deben ser realizados tomando en cuenta la magnitud de las estructuras y la calidad de los suelos. En la **Tabla 1** se presentan los tipos de estudios de suelos y geotécnicos, en función del componente del sistema y el tamaño de la población.

Tabla 1. Tipo de estudio en función del componente del sístema y la población

Componente	Población (habitantes)			
	< 2 000	2 001 a 10 000	10 001 a 100 000	> 100 000
Obra de captación	*	X	O	+
Tanque de almacenamiento	*	X	O	+
Planta de tratamiento	*	X	O	+
Obras especiales	*	X	O	+

(*) Requiere ensayo simplificado de suelo en sitio (Pozo de observación, determinación de fatiga *in situ*).

(x) Requiere análisis de suelos (tipo de suelo, composición granulométrica, ensayo de penetración).

(o) Requiere estudio de suelos (tipo de suelo, composición granulométrica, ensayo de penetración, pruebas de compactación y densidad *in situ*).

(+) Requiere estudio geotécnico.

2.2.5 Trabajos topográficos

(1) Se debe realizar el trabajo topográfico, empleando cualquiera de los métodos conocidos, incluyendo el planialtimétrico (véase **Anexo A**).

(2) Para poblaciones rurales que cuenten con un número menor a 30 conexiones, el trabajo topográfico podrá realizarse utilizando un eclímetro, huincha, jalones, altímetro y/o GPS (Global Position System).

(3) Los puntos referenciados mediante un equipo GPS navegador, deben proporcionar posiciones en coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator). El Datum a emplearse en la referenciación será preferentemente el WGS (84) World Geodesic System (1984) o en su defecto el PSAD (56) Provisional South America Data (1956). Esta información debe ser especificada en las memorias descriptivas o de cálculo.

(4) El registro de datos se realizará con referencia a la coordenada Norte y Este.

(5) El procedimiento de posicionamiento y registro de datos se llevará a cabo de la siguiente manera:

a) Activar el equipo y esperar al menos 2 minutos para permitir la ubicación satelital.

b) Se debe ubicar el GPS a nivel de suelo sobre la marca donde se realizará la excavación o perforación del pozo.

c) Se debe realizar una primera lectura directa transcurridos al menos 2 minutos desde el posicionamiento (lectura de referencia).

d) Se debe retirar el GPS de su posición inicial, llevándolo a una distancia de por lo menos 5 metros sin apagar el mismo, a objeto de desposicionarlo.

e) Se ubicará nuevamente el GPS en la marca inicial y se realizará la lectura directa después de un lapso de tiempo de 2 minutos (lectura de registro).

2.2.6 Evaluación del estado del sistema de abastecimiento de agua

(1) Comprende la evaluación de las condiciones técnicas y administrativas del sistema de agua existente. Esta evaluación debe realizarse en campo verificando las condiciones de las estructuras, tuberías, accesorios y válvulas.

2.3 ESTUDIOS SOCIO-ECONÓMICOS Y CULTURALES

(1) Este estudio permite establecer la línea base del proyecto y obtener información de las características de la población de estudio.

(2) Los estudios socio-económicos y culturales deben incluir:

a) Población actual, que considere el número total actual y el número de personas por género.

b) Cobertura del servicio, se identificará el número o porcentaje de viviendas que reciben servicio de agua a través de conexiones domiciliarias y/o públicas.

c) Análisis de la condición económica de la población, se evaluará el nivel de ingresos económicos familiar, tipo de actividad económica y capacidad de pago de los servicios.

d) Evaluación de las condiciones sanitarias, se identificarán las condiciones de saneamiento básico de la población del proyecto.

e) Hábitos y costumbres sobre el manejo del agua, se identificarán los hábitos y costumbres para la obtención, transporte y almacenamiento de agua, disposición de excretas y residuos sólidos.

f) Evaluación de la salud con relación al agua, se identificarán los problemas de salud de la población originados por el consumo de agua contaminada. Las enfermedades más comunes y prevalentes.

2.4 ESTUDIOS AMBIENTALES

(1) Los estudios ambientales pueden estar referidos a:

a) Evaluación de impacto ambiental, analizando los posibles efectos en el ambiente, la salud y economía, causados por un proyecto nuevo de agua potable; así como las medidas de mitigación.

b) Control de la calidad ambiental, analizando las condiciones ambientales originadas por un proyecto ya construido y/o en funcionamiento.

(2) Complementariamente, deben analizarse los factores ambientales que pueden afectar la sostenibilidad del proyecto (deforestación de la cuenca, contaminación del acuífero y otros).

(3) El desarrollo de los estudios ambientales, debe cumplir lo establecido en la Ley 1333 y el Reglamento a la Ley del Medio Ambiente.

CAPÍTULO 3
PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO

3.1 DEFINICIÓN

(1) Los parámetros básicos de diseño son un conjunto de valores necesarios para el diseño del proyecto, los cuales son obtenidos en base a estudios de campo, recolección de información técnica, económica, social, ambiental y cultural de la población a ser beneficiada por el proyecto.

3.2 POBLACIÓN DE PROYECTO

(1) Es el número de habitantes que ha de ser servido por el proyecto para el período de diseño, el cual debe ser establecido con base en la población inicial.

(2) La población del proyecto debe ser determinada mediante un estudio demográfico.

(3) Para la estimación de la población de proyecto se deben considerar los siguientes aspectos:

a) Población inicial, referido al número de habitantes dentro el área de proyecto que debe ser determinado mediante un censo poblacional y/o estudio socio-económico.

i) Se aplicarán los datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadística (INE) para determinar la población de referencia o actual y los índices de crecimiento demográfico respectivos.

ii) Para poblaciones menores, en caso de no contar con índice de crecimiento poblacional, se debe adoptar el índice de crecimiento de la población capital o del municipio. Si el índice de crecimiento fuera negativo se debe adoptar como mínimo un índice de crecimiento de 1%.

b) Población futura, referido al número de habitantes dentro el área del proyecto que debe ser estimado en base a la población inicial y el índice de crecimiento poblacional, para el período de diseño.

3.2.1 Métodos de cálculo

(1) Para el cálculo de la población futura se pueden utilizar uno de los siguientes métodos de crecimiento, según el tipo de población, dependiendo de sus características socio-económicas. Los métodos de cálculos son :

a) Aritmético: $$P_f = P_o \left(1+\frac{i*t}{100}\right)$$

b) Geométrico: $$P_f = P_o \left(1+\frac{i}{100}\right)^t$$

c) Exponencial: $$P_f = P_o * e^{\left(\frac{i * t}{100}\right)}$$

d) Curva logística: $$P_f = \frac{L}{1 + m * e^{(a*t)}}$$

$$L = \frac{2*P_o*P_1*P_2 - P_1^2 (P_o + P_2)}{P_o*P_2 - P_1^2}$$

Donde:
- P_f Población futura en hab.
- P_o Población inicial en hab.
- i Indice de crecimiento poblacional anual en porcentaje
- t Número de años de estudio o período de diseño
- L Valor de saturación de la población
- m Coeficiente
- a Coeficiente

$$m = \frac{L - P_o}{P_o}$$

$$a = \frac{1}{t_1} \ln \left[\frac{P_o(L - P_1)}{P_1(L - P_o)} \right]$$

- P_o, P_1, P_2 Población correspondiente a los tiempos t_o, t_1 y $t_2 = 2*t_1$
- t_o, t_1, t_2 Tiempo intercensal en años correspondiente a la población P_o, P_1, P_2

3.2.2 Aplicación

(1) Los métodos a emplearse deben ser aplicados en función del tamaño de la población, de acuerdo a lo especificado en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Aplicación de los métodos de cálculo para la estimación de la población futura

Método	Población (habitantes)			
	Hasta 5 000	De 5 001 a 20 000	De 20 001 a 100 000	Mayores a 100 000
Aritmético	X	X		
Geométrico	X	X	X	X
Exponencial	X (2)	X (2)	X (1)	X
Curva logística				X

(1) Optativo, recomendable

(2) Sujeto a justificación

3.2.3 Criterio del proyectista

(1) El ingeniero proyectista, podrá de acuerdo a las condiciones particulares de la localidad adoptar uno de los métodos recomendados o usar otro criterio, siempre que lo justifique técnicamente.

3.2.4 Correcciones a la población calculada

(1) La población calculada según los métodos descritos, debe ser determinada y ajustada de acuerdo a las siguientes consideraciones:

a) Población estable.
b) Población flotante, se refiere a la población ocasional que signifique un aumento notable y distinto a la población estable.
c) Población migratoria, que depende de las condiciones de planificación sectorial en relación con los recursos naturales, humanos y/o económicos de cada localidad.

3.2.5 Area del proyecto

(1) Se considera área de proyecto, a aquella que contará con el servicio de agua potable, para el período de diseño del proyecto.

(2) La delimitación del área de proyecto debe seguir los lineamientos del plan de desarrollo de la población o planes maestros, o ser establecido de acuerdo a un estudio de áreas de expansión futura.

(3) De acuerdo a la magnitud y características de la población, se deben diferenciar claramente las áreas de expansión futura, industriales, comerciales, de equipamiento y áreas verdes. El área de proyecto se debe dividir en subáreas de acuerdo a rangos de densidad poblacional y por sus características socioeconómicas como centros urbanos y zonas periurbanas.

(4) En el área rural, se debe diferenciar las áreas de nucleamiento y las áreas de población dispersa y semidispersa.

(5) Se debe señalar claramente los establecimientos educativos, cuarteles, hospitales, centros deportivos y otras instituciones, así como la capacidad de los mismos, que representan consumos de carácter público / institucional a ser considerados especialmente en el diseño de las redes de distribución.

3.3 CONSUMO DE AGUA

(1) La dotación de agua per cápita debe ser establecida mediante la dotación media diaria y la dotación futura de agua, que permita satisfacer los requerimientos de consumo doméstico, comercial, industrial y público, considerando las pérdidas en la red de distribución.

3.3.1 Dotación media diaria

(1) La dotación media diaria, se refiere al consumo anual total previsto en un centro poblado dividido por la población abastecida y el número de días del año. Es el volumen equivalente de agua utilizado por una persona en un día.

(2) Para el caso de sistemas nuevos de agua potable, con conexiones domiciliarias, la dotación media diaria puede ser obtenida sobre la base de la población y la zona geográfica dada, según lo especificado en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Dotación media diaria (l/hab-d)

Zona	Población (habitantes)					
	Hasta 500	De 501 a 2 000	De 2 001 a 5 000	De 5 001 a 20 000	De 20 001 a 100 000	Más de 100 000
Del altiplano	30 - 50	30 - 70	50 – 8	80 - 100	100 - 150	150 - 200
De los Valles	50 - 70	50 - 90	70 - 100	100 - 140	150 - 200	200 - 250
De los Llanos	70 - 90	70 - 110	90 - 120	120 - 180	200 - 250	250 - 350
Notas:	(1)			(2)		

(1) Justificar a través de un estudio social

(2) Justificar a través de un estudio socio-económico

(3) Las dotaciones indicadas son referenciales y deben ajustarse sobre la base de estudios que identifiquen la demanda de agua, capacidad de la fuente de abastecimiento y las condiciones socioeconómicas de la población, podrán utilizarse datos de poblaciones con características similares.

(4) Para sistemas nuevos de agua potable, en zonas rurales, como caso excepcional, donde la disponibilidad de agua no llegue a cubrir la demanda de la población (consumo restringido) se debe calcular la dotación en base al caudal mínimo de la fuente y la población futura.

(5) En caso de establecer una dotación menor a 30 l/hab-d, no se deben considerar conexiones domiciliarias, solamente piletas públicas.

(6) Para el caso de ampliación, incorporación o cambio de los componentes de un sistema existente, la dotación media diaria debe ser obtenida en base al análisis y resultados de los datos de producción y consumo del sistema. En forma previa al uso de los valores de consumo deberá efectuarse la verificación del equilibrio de caudales del sistema a fin de determinar los componentes debidos a pérdidas en cada uno de los componentes del sistema.

3.3.2 Dotación futura de agua

(1) La dotación media diaria actual puede incrementarse de acuerdo a los factores que afectan el consumo y se justifica por el mayor hábito en el uso de agua por la disponibilidad de la misma. Por lo que, se debe considerar en el proyecto una dotación futura para el período de diseño, la misma que debe ser utilizada para la estimación de los caudales de diseño.

(2) La dotación futura se puede estimar con un incremento anual entre el 0,50% y el 2% de la dotación media diaria, aplicando la fórmula del método geométrico:

$$D_f = D_o \left(1+\frac{d}{100}\right)^t$$

Donde:
- D_f Dotación futura en l/hab-d
- D_o Dotación inicial en l/hab-d
- d Variación anual de la dotación en porcentaje
- t Número de años de estudio en años

3.4 CAUDALES DE DISEÑO

(1) Los caudales de diseño deben ser estimados para el dimensionamiento de los diferentes componetes del sistema de agua potable. Se deben considerar los siguientes caudales:

3.4.1 Caudal medio diario

(1) Es el consumo medio diario de una población, obtenido en un año de registros. Se determina con base en la población del proyecto y dotación, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q_{md} = \frac{P_f * D_f}{86\ 400}$$

Donde:
- Q_{md} Caudal medio diario en l/s
- P_f Población futura en hab.
- D_f Dotación futura en l/hab-d

3.4.2 Caudal máximo diario

(1) Es la demanda máxima que se presenta en un día del año; representa el día de mayor consumo del año.

(2) Se determina multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente k_1 que varía, según las características de la población.

$$Q_{máx.d} = k_1 * Q_{md}$$

Donde:
- $Q_{máx.d}$ Caudal máximo diario en l/s
- k_1 Coeficiente de caudal máximo diario k_1 = 1,20 a 1,50
- Q_{md} Caudal medio diario en l/s

3.4.3 Caudal máximo horario

(1) Es la demanda máxima que se presenta en una hora durante un año completo. Se determina multiplicando el caudal máximo diario por el coeficiente k_2 que varía, según el número de habitantes, de 1,5 a 2,2, tal como se presenta en la **Tabla 4**.

$$Q_{máx.h} = k_2 * Q_{máx.d}$$

Donde:
$Q_{max.h}$ Caudal máximo horario en l/s
k_2 Coeficiente de caudal máximo horario
$Q_{máx.d}$ Caudal máximo diario en l/s

Tabla 4. Valores del Coeficiente k_2

Población (habitantes)	Coeficiente k_2
Hasta 2 000	2,20 – 2,00
De 2 001 a 10 000	2,00 – 1,80
De 10 001 a 100 000	1,80 – 1,50
Mas de 100 000	1,50

3.4.4 Caudal industrial

(1) Es la cantidad de agua que se requiere para atender la demanda industrial.

(2) Los consumos industriales pueden ser establecidos en base a lo especificado en el Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias.

(3) El caudal industrial se estimará tomado en cuenta dichos consumos y las características de cada tipo de industria.

3.4.5 Demanda contra incendios

(1) Se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

a) Para poblaciones menores a 10 000 habitantes no es necesario y resulta antieconómico el proyectar la demanda contra incendios, sin embargo el proyectista deberá justificar en los casos en que dicha protección sea necesaria.

b) Para poblaciones entre 10 000 y 100 000 habitantes, deberá considerar la protección contra incendios; sin embargo, el proyectista podrá justificar técnica y económicamente si la misma no es necesaria.

c) Para poblaciones mayores a 100 000 habitantes se debe considerar la protección contra incendios tomando en cuenta el volumen contra incendios y la ubicación de hidrantes en base a la planimetría y/o las zonas de servicio. Vease 8.5.2 y 9.5.16 de la Norma o 2.4.2 del Reglamento tecnico de diseño de tanques de almacenamiento para sistema de agua potable y 4.3 del Reglamento tecnico de diseño de redes de distribución para sistemas de agua potable.

3.5 PERÍODO DE DISEÑO

(1) El período de diseño es el número de años durante los cuales una obra determinada prestará con eficiencia el servicio para el cual fue diseñada.

(2) El período de diseño debe ser adoptado en función del componente del sistema y la característica de la población, según lo indicado en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Período de diseño (años)

Componente del sistema	Población menor a 20 000 habitantes	Población mayor a 20 000 habitantes
Obra de captación	10 – 20	30
Aducción	20	30
Pozos profundos	10	15 - 20
Estaciones de bombeo	20	30
Plantas de tratamiento	15 - 20	20 - 30
Tanques de almacenamiento	20	20 - 30
Redes de distribución	20	30
Equipamiento:		
- Equipos eléctricos	5 - 10	5 - 10
- Equipos de combustión interna	5	5

(3) El período de diseño podrá ser mayor o menor a los valores especificados en **Tabla 5**, siempre que el ingeniero proyectista lo justifique.

(4) Con el fin de evitar inversiones mayores al inicio del proyecto y/o el sobredimensionamiento de las distintas unidades del sistema, referido a los requerimientos del período inicial del proyecto, se podrán definir etapas de construcción para los componentes susceptibles de crecimiento.

ANEXO “A”
TRABAJOS TOPOGRÁFICOS

ANEXO "A"
Trabajos Topográficos

1. INTRODUCCIÓN

a) Los trabajos topográficos destinados a diseño y elaboración de proyectos de agua potable deben satisfacer y regirse a lo indicado en el presente Anexo.

b) Para realizar trabajos topográficos en zonas donde se implementarán proyectos de agua potable, se debe recabar previamente, la información básica, de instituciones públicas y privadas (Alcaldías, Prefecturas, Subprefecturas y otras como el Instituto Geográfico Militar IGM), como ser planimetrías, nivelaciones, fotos aéreas, cartas geográficas, planos reguladores, catastrales y toda información necesaria para interpretar y desarrollar los trabajos topográficos.

c) Cuando se cuente con levantamientos y restituciones aerofotogramétricas se debe utilizar ésta información, para la cual se establecerán y conformarán los puntos de control utilizados en la elaboración de los mismos.

d) Todo trabajo de topografía se debe iniciar con referencia a un Bench Mark (BM) del Instituto Geográfico Militar (IGM). Las estaciones topográficas del proyecto, deben tener cotas de elevación obtenidas obligatoriamente por nivelación directa, arrastrados desde el BM.

e) En caso de no existir un BM en la zona del proyecto, o el BM esté a una distancia tal que impida un fácil acceso y/o arrastre, o sea incompatible con la magnitud del proyecto, se debe iniciar el trabajo definiendo e indicando un punto fijo y permanente, cuya cota y coordenadas serán asumidas en concordancia a la información básica y/o determinados en campo (utilizando un altímetro o un GPS navegador). Este punto (Ec) será la estación de partida y podrá ubicarse en sitio difíciles de remover o deteriorar (puentes vehiculares, la base de una estatua, plaza, edificios públicos y similares).

f) Los estudios preliminares, estudios a diseño final requeridos en la elaboración de proyectos de diseño de sistemas de agua potable en todos sus componentes deben ser realizados con la precisión señalada en el numeral 6, indicado en el presente Anexo.

g) Para representar en un plano, la configuración física de los sitios geográficos, se debe emplear un método de levantamiento topográfico y disponer de equipos apropiados al proyecto para efectuar: poligonación, triangulación, trilateración, nivelación directa, radiación taquimétrica o métodos combinados que sean complementarios.

h) Toda información y levantamientos topográficos deben ser necesariamente verificados en el terreno.

i) Para el replanteo posterior del proyecto, el responsable dejará en la localidad, BMs auxiliares y/o estaciones de la poligonal básica en lugares fijos, o mojones permanentes de hormigón (con mezcla de dosificación 1:3:6), de forma cilíndrica a una altura total de 40 cm y diámetro de 15 cm, enterrados una profundidad mínima de 30 cm y que sobresalgan 10 cm. Deberán ser anclados en el terreno a través de barras metálicas, hincadas antes del vaciado del mortero. En caso de disponer de mojones prefabricados, estos serán de 25 cm de altura, debiendo enterrarse 15 cm y sobresalir 10 cm, los cuales serán embebidos en una plataforma de mortero de 25 cm x 25 cm con una mezcla de hormigón cuya dosificación sea 1:3:6.

j) En el centro de la cara superior del mojón debe insertarse un elemento metálico (placa de bronce) para señalar el punto de la estación.

k) Se seguirá la anterior indicación para poligonales que abarquen los componentes principales del proyecto. En poligonales secundarias las estaciones pueden ser también estacas de madera, cubiertas con pintura y convenientemente protegidas.

l) Los mojones y estacas deben ser identificados y localizados con pintura al aceite de color que contraste con el medio (amarillo, verde, rojo u otros). Se deben señalar las marcas con letras legibles y seguida del número correspondiente a la estación (por ejemplo E – 30), en dimensiones de 50x50 cm y en un lugar visible; la numeración no debe repetirse en el mismo proyecto.

2. PLANIMETRÍA

a) Se puede definir una o más poligonales primarias cerradas, de acuerdo a la extensión del área del proyecto, con 2 (dos) puntos geodésicos como mínimo (uno de partida), con puntos de coordenadas absolutas conocidas determinadas a través de GPS topográfico. El enlace o la liga a los puntos geodésicos deben realizarse por alguno de los métodos de medición de ángulos horizontales para mejorar la precisión de los mismos.

b) La línea poligonal principal puede ser medida por el método teodolito – cinta metálica.

c) La línea poligonal principal puede ser medida con Estación Total, por taquimetría electrónica, requiriéndose 2 lecturas obligadas y una tercera opcional de comprobación.

d) En los casos que se quiera realizar una poligonal cerrada para obtener la representación del poblado, ésta debe estar en el perímetro exterior de la zona urbanizada y anexa a las áreas de expansión, las restantes poligonales se deben ubicar de acuerdo al criterio del ingeniero proyectista; debe tomar los ángulos por doble lectura y utilizar el promedio para fines de verificación y representación gráfica. Toda poligonal debe cerrarse con la tolerancia indicada en el punto 6 del presente Anexo.

e) En las poligonales deben anotarse los valores resumen de ángulos y distancias, así como los valores de enlace o liga a la red y se realizarán los cálculos de coordenadas.

f) En poligonales secundarias (abiertas), deben levantarse fajas laterales con un ancho no menor a 25 m a cada lado en zonas no urbanizadas y poblaciones dispersas; en regiones urbanizadas, el ancho de faja debe ser hasta los límites de los predios.

3. ALTIMETRÍA

a) La cota de partida para las nivelaciones necesarias, se debe tomar con referencia a un BM del IGM, o lo establecido en el punto 1, inciso e)

b) La nivelación de la poligonal con relación al BM debe ser directa y cerrada, arrastrando la cota del BM de partida hasta el siguiente o hasta el punto de la poligonal base.

c) La nivelación debe realizarse con nivel de ingeniero.

d) Excepcionalmente, en trabajos cuya extensión no sea mayor a las 5 hectáreas y no requieran de precisión por la naturaleza del mismo, la nivelación podrá realizarse con teodolito por medio de nivelación trigonométrica recíproca con doble lectura. La realización de este método de nivelación debe ser aprobada por el encargado de obra.

e) La nivelación para el enlace de la línea poligonal principal al BM y las poligonales secundarias a las principales, deben cumplir los requerimientos señalados en el punto 6, inciso g).

f) Deben definirse puntos o estaciones de referencia de elevación conocida, a distancias intermedias de aproximadamente 500 m, de modo que haya dos por cada kilómetro de poligonal, usando de referencia y de ser posible, sitios de carácter permanente y localizándolos con respecto a la poligonal básica.

g) La lectura de la mira no se hará a más de 50 m de distancia.

h) En las áreas destinadas para la construcción de plantas potabilizadoras de agua, se deben efectuar nivelaciones a lo largo y ancho del área proyectada, levantando perfiles transversales al menos cada 50 m. Se dejarán mojones de nivelación distribuidos en el perímetro del área destinada a la infraestructura a distancias no mayores a los 50 m.

i) Se deben levantar los perfiles transversales de todas y cada una de las vías existentes o futuras en zonas urbanizadas o por urbanizar, que estén comprendidas en el área del proyecto.

4. TAQUIMETRÍA

a) El método taquimétrico debe emplearse para levantar los puntos de manera tal que sirvan para obtener la mejor representación de los detalles necesarios para la elaboración de los proyectos. Para este efecto partiendo de una poligonal principal o secundaria, se debe efectuar el levantamiento tomando los puntos más representativos, puntos de cambios de dirección de vías y similares, cambios de pendiente, montículos, depresiones en el terreno y detalles plano - altimétricos en general.

b) El número generador de todos los puntos debe ser calculado previa anotación de la lectura estadimétrica. Todos los puntos representativos de características físicas de la zona deben ser identificados en la primera casilla de la libreta.

e) En caso de emplear el método de taquimetría por radiación, se debe realizar con lecturas angulares a partir de estaciones de las poligonales. Debe anotarse simple o doble lectura, según precisión requerida, para los ángulos horizontales propios, utilizando el promedio así como también realizar las mediciones en posición directa e invertida del instrumento.

f) Los detalles más importantes se levantarán con cinta metálica y los ángulos horizontales y verticales con teodolito.

g) Los puntos visados deben estar a distancias no mayores a 150 m de los instrumentos.

5. REGISTRO DE DATOS (LIBRETA DE CAMPO)

a) En la libreta de campo se deben dibujar croquis explicativos lo más ajustados a la realidad.

b) Se deben efectuar anotaciones acerca del tipo y/o calidad del terreno en cada zona debiéndose también indicar los límites de predios o parcelas, señalando si se trata de muros, cercas de alambres de púas u otros.

c) Las anotaciones que resulten incorrectas, en el momento de realizar los levantamientos no deben ser borrados sino marcadas con una línea diagonal sobrepuesta, anotando nuevamente la correcta. En caso de que toda la página o un sector del trabajo se encuentren incorrectos, este se tachará completamente, indicándose además con la palabra NULO O ANULADO y comenzando a renglón seguido a anotar el trabajo correcto; si esto ocurre, se debe indicar con la nota correspondiente y se señalará en el índice de la misma.

d) Debe emplearse para las anotaciones, libretas de nivelación marcadas con un número ordinal en la tapa, nombre y título del proyecto, nombre del proyectista, del topógrafo y del supervisor así como la fecha y equipo utilizado. Todas las páginas deben ser numeradas. Cada libreta llevará en sus primeras páginas un índice del contenido de las mismas así como la numeración completa de ésta.

e) Todos los puntos representativos de características físicas de la zona deben ser identificados en la primera casilla de la libreta.

6. PRECISIÓN REQUERIDA

La precisión de los levantamientos topográficos debe ajustarse a los siguientes límites:

a) Error angular permisible para cierre de poligonales principales:

$$E_{ap} = 15'' * \sqrt{N}$$

Donde: E_{ap} Error admisible en segundos.
N Número de ángulos en el polígono

b) Error angular permisible para cierre de poligonales secundarias:

$$E_{as} = 25'' * \sqrt{N}$$

Donde: E_{as} Error admisible en segundos.
N Número de ángulos en el polígono

c) Error longitudinal permisible para cierre de poligonales principales:

E_{lp} 1 : 5 000

Donde: E_{lp} Error longitudinal permisible

d) Error longitudinal permisible para poligonales secundarias:

E_{ls} 1 : 3 000

Donde: E_{ls} Error longitudinal permisible

e) Error permisible de nivelación directa de poligonales principales:

$$E_{np} = 10mm * \sqrt{L}$$

Donde: E_{np} Error permisible de nivelación directa en milímetros.
L Longitud nivelada (Nº de km).

f) Error permisible de nivelación directa de poligonales secundarias:

$$E_{ns} = 20mm * \sqrt{L}$$

Donde: E_{ns} Error permisible de nivelación directa en milímetros.
L Longitud nivelada (Nº de km).

g) Error permisible de nivelación para enlace de poligonal con BM:

$$E_{ne} = 10mm * \sqrt{L}$$

Donde: E_{ne} Error permisible en nivelación en milímetros.
L Longitud nivelada (Nº de km)

7. INSTRUCCIONES GENERALES

a) El equipo a utilizar debe estar convenientemente calibrado y en buen estado de mantenimiento.

b) El topógrafo debe hacer el levantamiento de acuerdo a las instrucciones emanadas del encargado del proyecto, siendo éste quién indicará cuales son las fuentes de abastecimiento, sitios de captación, posibles líneas de aducción e impulsión, redes de distribución, con sus alternativas de ubicación y lugares adecuados.

c) Los sitios de toma o de captación de posibles fuentes de suministro y/o plantas de tratamiento se deben levantar detalladamente, de manera que se pueda representar gráficamente el terreno, conocer su ubicación y configuración con precisión, con poligonales cuyas tolerancias de cierre se indican en el punto 6 según corresponda.

d) Las posibles líneas de aducción e impulsión deben ser levantadas por medio de poligonales abiertas que tengan las precisiones de la poligonal principal del poblado y estén enlazadas a la misma, tomando puntos intermedios que indiquen los desniveles o perfiles del terreno.

e) De acuerdo a la apreciación o instrucciones superiores, en el lugar donde pudiese convenir ubicar un tanque de regulación y obras de arte, se debe proceder a realizar el levantamiento de una zona de cierta amplitud que permita el dibujo de curvas de nivel con bastante precisión y la elección de la cota definitiva.

f) El trazado de redes de agua, se debe realizar con preferencia por vías públicas, evitando expropiaciones y servidumbres de paso en propiedades privadas. En caso de no poder evitar estos pasos, se debe medir la zona afectada (señalando los vértices con estacas o mojones), rigiéndose a disposiciones legales de la alcaldía del lugar.

g) Las variantes de vías públicas, se justificarán cuando existan pasos inaccesibles (infraestructura existente, ríos y cauces profundos), evitando cruces directos con obras demasiado costosas.

h) En caso de cruce de cursos de agua se obtendrán secciones transversales, cada 20 m en 50 m de longitud del río, determinando el nivel de agua y registrando la fecha.

i) Debe obtenerse detalles plani-altimétricos (perfiles transversales y/o longitudinales) de cruces de vías públicas donde existan puentes vehiculares y peatonales, canales, ductos y otras obras civiles, que puedan utilizarse para el paso de la tubería proyectada.

j) Se deben completar los trabajos, midiendo con cinta métrica el ancho de vías, caminos, calles, avenidas y otros puntos representativos.

k) Cuando se considere aprovechable la infraestructura existente en uno o varios componentes, se debe efectuar un relevamiento.

l) Para redes de agua potable, se obtendrán datos sobre los ejes de tubería, profundidad de la solera, puntos de ubicación de cambios de dirección o pendiente, válvulas en general, material, longitud, diámetro y estado de tuberías.

8. CÁLCULOS TOPOGRÁFICOS

a) Todo cálculo topográfico debe iniciarse verificando que la poligonal levantada en el campo está dentro de los límites de errores señalados con las fórmulas ya expresadas, referidas a cierres de ángulos, distancias y altimetría. Si la poligonal es abierta, se debe hacer la revisión de los azimutes, comparando el de arrastre o conservación con el de los puntos geodésicos en una estación dada.

b) Si con los valores anotados en la libreta no se pueden cumplir las condiciones anteriormente indicadas, debe procederse a rehacer el levantamiento en forma total o parcial según el caso.

c) Se debe proceder al cálculo de las coordenadas de acuerdo con las prácticas topográficas.

d) Los ángulos registrados en la libreta, deben ser comparados con los ángulos resultantes de los cálculos, determinados a partir de las coordenadas de las estaciones de la poligonal principal. La planilla de cálculos de coordenadas, debe ser presentada adjunta al proyecto, indicando el método de cálculo y nombre del responsable.

e) En caso de realizar el trabajo topográfico con Estación Total, se deberá adjuntar la memoria y la información de respaldo en medio magnético.

Reglamento Nacional NB 689

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

REGLAMENTO TÉCNICO DE FUENTES PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Segunda revisión

Diciembre 2004

ÍNDICE

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES 37
1.1 OBJETO 37
1.2 CAMPO DE APLICACIÓN 37
1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO 37

CAPÍTULO 2
FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL 38
2.1 DEFINICIÓN 38
2.2. CLASIFICACIÓN 38
2.3 INFORMACIÓN NECESARIA 38
2.4 CAUDALES REQUERIDOS 39
2.5 MÉTODOS DE AFORO DE CAUDALES 40
2.5.1 Método de área - velocidad 40
2.5.2 Método del vertedero 41

CAPÍTULO 3
FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA 42
3.1 DEFINICIÓN 42
3.2 CLASIFICACIÓN 42
3.3 INFORMACIÓN NECESARIA 42
3.4 CAUDALES REQUERIDOS 43
3.5 MÉTODOS DE AFORO 43
3.5.1 Aforo de vertientes, método volumétrico 43
3.5.2 Aforo de pozos excavados de bajo rendimiento, método de recuperación 44
3.5.3 Aforo de pozo de alto rendimiento, método prueba de bombeo 44

CAPÍTULO 4
FUENTES DE AGUA DE LLUVIA 46
4.1 DEFINICIÓN 46
4.2 INFORMACIÓN NECESARIA 46

CAPÍTULO 5
RIESGOS SANITARIOS Y PROTECCIÓN DE FUENTES 47

PARTICIPANTES

Las Instituciones y profesionales que participaron en la revisión y actualización del presente Reglamento fueron los siguientes:

Alvaro Camacho	Director General de Servicios Básicos VSB
Alcides Franco	Director de Area de Normas y Tecnología VSB
Marco Quiroga	Coordinador General PROAT
Jorge Calderón	VSB
Enrique Torrico	VSB
Frady Torrico	FPS La Paz
Ramiro Iporre	FPS Cochabamba
Eduardo Cuestas	FPS Santa Cruz
Edson Zelada	UNASBVI Cochabamba
Wilma Montesinos	VIPFE
Carlos Gámez	SISAB
Romel Chavez	Prefectura Santa Cruz
Evel Álvarez	AISA
Víctor Rico	CARE
Humberto Cordero	Consultor
Roger Mattos	Empresa Global
Gery Irusta	SED FMC
Jorge Saba	APSAR
Grover Calicho	PRODASUB - JICA
Manuel Elías	Empresa Misicuni

ELABORACIÓN
AGUILAR & ASOCIADOS S.R.L.

Humberto Cáceres	Gerente de Saneamiento Básico
Carlos España	Consultor
Grover Rivera	Consultor
Iván Alvarez	Diseño Gráfico

FINANCIADOR
Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Asdi)

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES

1.1 OBJETO

(1) El presente Reglamento tiene por objeto establecer los criterios técnicos mínimos para la selección de fuentes de agua, que se deben cumplir en el diseño de sistemas de agua potable.

1.2 CAMPO DE APLICACIÓN

(1) Este Reglamento se aplica a nivel nacional para el diseño, ejecución o control de sistemas de agua potable públicos y/o privados.

(2) Es obligatorio el conocimiento y aplicación del Reglamento de Fuentes de Agua, por el proyectista, ejecutor, supervisor y fiscalizador de la obra. Sin embargo, se podrán aplicar criterios de diseño, constructivos y métodos de control no especificados en el presente reglamento, toda vez que se justifiquen técnicamente ante la Autoridad Competente.

1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

(1) La elaboración del proyecto de fuentes de agua comprende las siguientes actividades:

a) Obtener información de las fuentes de abastecimiento.
b) Efectuar un reconocimiento del terreno para conocer las características hidrogeográficas de la cuenca o hidrogeológicas, condiciones ambientales y sitios de captación.
c) Realizar análisis hidrológico, estudios hidrológicos o hidrogeológicos, según el caso.
d) Determinar la cantidad de la fuente mediante aforos o pruebas de bombeo.
e) Determinar la calidad del agua de la fuente mediante análisis físico, químico y microbiológico.
f) Para el caso de agua de lluvia, establecer la oferta y demanda de agua, obtener datos de precipitación y superficie de captación.

CAPÍTULO 2
FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL

2.1 DEFINICIÓN

(1) Se consideran fuentes de agua superficial a los cursos de agua superficial que son utilizados en abastecimiento público y privado.

2.2. CLASIFICACIÓN

(1) Entre los tipos de fuentes de aguas superficiales se consideran:

a) Cursos de agua natural (ríos, riachuelos, arroyos, quebradas).

(1) Son cuerpos de agua que fluyen permanente o intermitentemente a través de depresiones geomorfológicas naturales y pueden ser:

i) Cursos de agua de montaña, que se caracterizan por tener pendientes pronunciadas, arrastre intenso de sólidos en forma temporal, tirante bajo y altas velocidades.

ii) Cursos de agua de llanura, que se caracterizan por tener, pendientes bajas, tirante alto y bajas velocidades.

b) Cuerpos de agua (lagos, lagunas).

(1) Son depresiones geomorfológicas naturales que permiten la acumulación de agua con los aportes de afluentes y/o precipitaciones pluviales y pueden ser:

i) Cuerpos de agua de montaña, que se caracterizan en general por tener áreas de aporte limitadas, aguas con bajo contenido de agentes contaminantes.

ii) Cuerpos de agua de llanura, que se caracterizan por tener áreas de aporte mayores a los de montaña.

2.3 INFORMACIÓN NECESARIA

(1) Para el estudio de fuentes superficiales de agua se deben considerar:

a) Cantidad de agua de la fuente, se deben determinar los caudales mínimos en época de estiaje y caudales máximos en crecida (ciclo hidrológico).

i) Para poblaciones menores a 2 000 habitantes la determinación de los caudales de oferta debe considerar por lo menos los siguientes análisis:

i-1) Realización de aforos, preferentemente en época de estiaje.
i-2) Recabar referencias históricas del caudal de aguas, con base en información de los habitantes del lugar.
i-3) Realizar un análisis hidrológico con base en información meteorológica de la estación más cercana.

ii) Para poblaciones mayores a 2 000 habitantes la determinación de caudales de oferta debe considerar un estudio hidrológico.

b) Características hidrogeográficas de la cuenca, se debe realizar una descripción de la cuenca con relación a cursos de agua, morfología y otros.

c) Estudios hidrológicos, se debe obtener datos de precipitación pluvial, escurrimiento superficial, infiltración, evaporación y transpiración.

d) Calidad del agua de la fuente, se debe establecer la calidad física, química y microbiológicas del agua al menos en dos épocas del año, de acuerdo a lo especificado en el Capítulo 4 de la Norma Técnica de Diseño para Sistemas de Agua Potable.

e) Condiciones sanitarias y medioambientales de la cuenca, se deben identificar las fuentes de contaminación activas y potenciales que puedan afectar a la fuente de agua.

f) Posibles sitios de captación, se deben identificar los potenciales sitios de captación.

g) Análisis de riesgos, en represas deberá considerarse el estudio de análisis de riesgos (geológicos, geotécnicos, sismos, contaminación, efectos de obras de infraestructura y otros).

2.4 CAUDALES REQUERIDOS

(1) De acuerdo con el tipo de fuente los caudales son, con la debida consideración de las pérdidas en las diferentes etapas del sistema, los siguientes:

a) Ríos y arroyos:

(1) El caudal mínimo de captación debe ser igual o mayor a:

i) El caudal máximo horario cuando no hay tanque de almacenamiento.

ii) El caudal máximo diario cuando hay planta de tratamiento y/o tanque de almacenamiento.

(2) Para el caso de ríos, el caudal de captación de agua deberá ser como promedio diario menor al 20% del caudal mínimo diario del río para un período mínimo de retorno de 5 años, tal como señala el artículo 48 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley del Medio Ambiente (Ley Nº 1333). Sin embargo, el ingeniero proyectista podrá utilizar un mayor porcentaje del caudal del río, si lo justifica sobre la base de convenios de cesión de caudales y/o argumentos técnicamente justificados ante la autoridad competente.

b) Lagos, lagunas

(1) Debe satisfacer el caudal medio diario, tomando en cuenta el caudal y volúmenes de fluctuación anual.

2.5 MÉTODOS DE AFORO DE CAUDALES

(1) La medición de caudal o aforo de la fuente de agua superficial debe realizarse en diferentes épocas del año (al menos dos veces al año). Un aforo obligatoriamente en época de estiaje y otros aforos complementarios dependiendo del tipo de fuente y el tipo de obra seleccionada.

(2) El ingeniero proyectista debe evaluar la frecuencia y el tipo de aforos complementarios.

(3) Para la realización del aforo pueden utilizarse los siguientes métodos, registrando la fecha de realización del mismo:

2.5.1 Método de área - velocidad

(1) La determinación del caudal se realiza en base a la velocidad de flujo del agua y la sección transversal en el curso superficial.

(2) Para la determinación de la velocidad se debe seleccionar un tramo regular del río de sección uniforme.

(3) La velocidad se determina utilizando un cuerpo flotante y midiendo el tiempo de paso entre dos puntos previamente establecidos, esta operación debe efectuarse al menos tres veces y la velocidad se determina utilizando la siguiente expresión:

$$v = \frac{0{,}80 * L}{t}$$

Donde:	v	velocidad media del agua en m/s
	L	Distancia entre los puntos en m
	t	Tiempo de paso en s

(4) La velocidad de flujo del agua se puede determinar también, utilizando equipos especializados como molinetes u otros.

(5) La sección transversal de curso superficial se determina midiendo la profundidad cada 1/10 el ancho del curso de agua, como mínimo. La sección es igual al promedio de las alturas por el ancho de la sección medida.

$$A = b * \sum \frac{h_1 + h_2 + ... + h_n}{n}$$

Donde:	A	Area transversal media en m^2
	b	Ancho total de la sección en m
	h_1, h_2, h_n	Profundidad del nivel de agua en diferentes puntos de la sección en m
	n	Número de puntos en la sección

(6) El caudal se determina utilizando la siguiente expresión:

$$Q = v * A$$

Donde:
- Q Caudal del río en m^3/s
- v Velocidad media del agua en m/s
- A Área transversal media en m^2

2.5.2 Método del vertedero

(1) Se dispone de una barrera colocada en todo en ancho del curso. En la parte superior de la barrera existe una abertura en forma rectangular o triangular que permite el rebose del agua.

(2) El caudal se determina midiendo la altura de agua en el vertedero.

a) Para vertedero rectangular de pared delgada, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = 1{,}838 * L * h^{1,5}$$

Donde:
- Q Caudal en m^3/s
- L Longitud del vertedero en m
- h Altura de agua en el vertedero en m

b) Para vertedero triangular de pared delgada de ángulo recto, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = 1{,}4 * h^{2,5}$$

Donde:
- Q Caudal en m^3/s
- h Altura de agua sobre el vertedero en m

(3) El ingeniero proyectista, dependiendo de las condiciones locales podrá utilizar otras formas de medición de caudales, debidamente justificadas.

CAPÍTULO 3
FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA

3.1 DEFINICIÓN

(1) Se consideran fuentes de agua subterranea, a aquellos depósitos o reservorios del acuífero subterráneo que son utilizados en abastecimiento público y privado.

3.2 CLASIFICACIÓN

(1) Entre las fuentes de agua subterránea se consideran:

a) Vertientes o manantiales

(1) Son afloramientos naturales de agua provenientes de acuíferos subterráneos. El afloramiento se produce cuando el acuífero intercepta una depresión del terreno, fracturas, grietas o cambios litológicos emergiendo como una o mas venas. Según las características de cada tipo de acuífero, el caudal de la vertiente puede variar entre el período de lluvias y el de estiaje.

b) Agua subsuperficial

(1) Es el agua que se encuentra a poca profundidad del terreno, tiene recarga por infiltración de cuerpos de agua superficial y/o de lluvia.

c) Agua subterránea profunda

(1) Es el agua proveniente de los acuíferos libres, confinados y semiconfinados, que se encuentran a profundidades mayores a los 30 m.

3.3 INFORMACIÓN NECESARIA

(1) Para un estudio de fuente de agua subterránea se debe considerar la siguiente información:

a) Características hidrogeológicas.

b) Capacidad de producción del acuífero.

i) En poblaciones menores a 2 000 habitantes, los estudios de evaluación de las fuentes profundas deben incluir:

i-1) Análisis hidrogeológico.
i-2) Pruebas de bombeo con un caudal igual al doble del caudal requerido para determinar el nivel dinámico estable, definido por medio de bombeo continuo durante 24 horas.

ii) Para poblaciones mayores a 2 000 habitantes, se debe realizar un estudio hidrogeológico.

c) Nivel freático, se debe determinar la profundidad media en la que se encuentra; para casos de agua subsuperficial, en época de lluvia y estiaje.

d) Calidad del agua, que debe ser determinada mediante análisis físico, químico y microbiológico del agua al menos en dos épocas del año, de acuerdo a lo especificado en el Capítulo 4 de la Norma Técnica de Diseño para Sistemas de Agua Potable y en función del número de pozos.

i) En sistemas de agua con tecnología apropiada se podrá realizar un solo análisis físico, químico y microbiológico.

e) Posibles fuentes de contaminación, que debe ser realizado en campo mediante identificación de las potenciales fuentes de contaminación.

f) Inventario y análisis de pozos existentes en la zona circundante.

g) Dirección de flujo, que debe ser establecido la dirección de flujo mediante pruebas de campo.

h) Franja de seguridad, se debe establecer de una franja de seguridad para la explotación racional del agua subterránea.

3.4 CAUDALES REQUERIDOS

(1) Los caudales de captación deben ser iguales o mayores a:

a) El caudal máximo horario, cuando no hay tanque de almacenamiento
b) El caudal máximo diario, cuando se dispone de planta de tratamiento y/o tanque de almacenamiento

3.5 MÉTODOS DE AFORO

(1) El aforo de las fuentes de agua subterránea puede ser realizado por uno de los siguientes métodos, registrando la fecha de realización del mismo.

3.5.1 Aforo de vertientes, método volumétrico

(1) Se realiza utilizando un recipiente de volumen conocido y midiendo el tiempo de llenado en segundos. El procedimiento se debe repetir tres veces y se tomará un promedio del tiempo.

(2) El caudal de la vertiente se obtiene con la siguiente expresión:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:
- Q Caudal en l/s
- V Volumen del recipiente en l
- t Tiempo medio de llenado del recipiente en s

(3) El ingeniero proyectista, dependiendo de las condiciones locales podrá utilizar otras formas de medición de caudales, previamente justificadas.

3.5.2 Aforo de pozos excavados de bajo rendimiento, método de recuperación

(1) Para el aforo de pozos excavados de bajo rendimiento se debe agotar el pozo parcialmente, luego se dejan dos marcas a distancia conocida sobre un eje vertical en la pared del pozo y se controla el tiempo de recuperación del pozo entre las dos marcas.

(2) El agotamiento del pozo debe realizarse durante 12 horas, como mínimo.
(3) El caudal de rendimiento del pozo se estima con la siguiente expresión:

$$Q = \frac{V}{t}$$

(4) Para pozos circulares:

$$Q = \frac{(\pi * D^2)}{4} \quad \frac{* (h_1 - h_2)}{t}$$

Donde:

Q	Caudal o rendimiento del pozo en m^3/s
V	Volumen entre las dos marcas en m^3
t	Tiempo de recuperación en s
D	Diámetro del pozo en m
h_1	Profundidad mayor de la marca mas profunda en m
h_2	Profundidad menor en m

(5) El ingeniero proyectista, dependiendo de las condiciones locales podrá utilizar otras formas de medición de caudales, previamente justificadas.

3.5.3 Aforo de pozo de alto rendimiento, método prueba de bombeo

(1) Este método se emplea para pozos de sondeo de agua subsuperficial, pozos excavados y pozos profundos de alto rendimiento

(2) La determinación del caudal en pozos de alto rendimiento consiste en el bombeo de agua con una bomba. La bomba se localiza a la profundidad final de diseño. El caudal bombeado debe ser medido. La potencia de la bomba se va aumentando en períodos regulares (normalmente cada hora) verificando el caudal extraído y la profundidad del nivel de agua o nivel de abatimiento.

(3) La prueba de bombeo puede determinarse en uno de los siguientes casos:

a) Cuando se verifique un caudal estable a una profundidad mayor a la localización de la bomba (regularmente dos metros por encima del nivel de la bomba).

b) Cuando el agua extraída arrastre partículas de arena. Se tomará entonces como caudal de explotación máximo el registrado antes de ese período de prueba.

(4) La prueba de bombeo debe proporcionar la siguiente información:

a) Nivel estático inicial del pozo.
b) Caudal de bombeo para cada período de prueba.
c) Nivel de abatimiento para cada período de prueba.
d) Velocidad de recuperación del acuífero.
e) Curva de abatimiento Caudal versus tiempo.
f) Determinación de la Transmisibilidad.
g) Coeficiente de almacenamiento.
h) Fecha de la prueba.

(5) Las pruebas de bombeo deben realizarse hasta un período de 24 horas, como mínimo, después de alcanzado el nivel máximo dinámico. Sin embargo, cuando el caudal máximo de bombeo esté muy cerca al caudal máximo diario, la prueba de bombeo debe realizarse durante 72 horas mínimo.

(6) Los resultados se dibujarán mostrando la variación el caudal - abatimiento en el punto de explotación.

(7) La prueba de bombeo tendrá una duración mínima de 24 horas, con un caudal mínimo equivalente al doble del caudal requerido para el tamaño de la población.

CAPÍTULO 4
FUENTES DE AGUA DE LLUVIA

4.1 DEFINICIÓN

(1) Son aguas provenientes de la precipitación pluvial que pueden ser utilizados para abastecimiento público y/o privado.

4.2 INFORMACIÓN NECESARIA

(1) Determinación de la demanda, obtenida en base al número de usuarios y a la demanda percápita (l/had-día).

(2) Determinación de la oferta, obtenida en base al coeficiente de escorrentía, precipitación media y superficie de captación.

(3) Datos de precipitación pluvial, obtenida en base a la información de la estación meteorológica más próxima, que permita determinar la precipitación media anual, temperatura media anual y duración de la época seca.

(4) Tipo de superficie de recolección, en el que se deben identificar las características de las cubiertas de los techos y el tipo de material utilizado, esta información debe ser cuantificada por familia y por comunidad.

(5) El diseño y características de uso del agua de lluvia como fuente de abastecimiento, se describe en el Capítulo 12 de la Norma Boliviana NB 689 y en el Capítulo 4 del Reglamento Técnico de Diseño de Obras de Captación para Sistemas de Agua Potable.

CAPÍTULO 5
RIESGOS SANITARIOS Y PROTECCIÓN DE FUENTES

(1) La calidad de las aguas tiene estrecha relación con los riesgos sanitarios existentes en la zona de captación. La evaluación de riesgo sanitario se debe realizar a partir de una encuesta de la zona de captación que revele las potenciales fuentes de contaminación tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas.

(2) Toda zona de captación debe ser protegida, minimizando de ésta manera el riesgo sanitario de contaminación.

(3) Las zonas de protección deben estar delimitadas claramente y dentro de sus límites se deben restringir o prohibir actividades que pueden afectar la calidad del agua. Entre las actividades se incluyen el vertido de desechos tóxicos, la descarga de efluentes indeseables, las perforaciones, la minería, la explotación de canteras y el uso de fertilizantes agrícolas y plaguicidas. El proyectista debe identificar las actividades desarrolladas en la zona y las características de las descargas de efluentes, permitiéndole tomar medidas de protección necesarias.

(4) Se reconocen tres zonas de protección para las aguas subterráneas:

a) La zona que rodea la fuente más expuesta a un riesgo de contaminación por gérmenes patógenos. Esta zona será una isócrona de 50 días.

b) La zona que rodea la fuente más expuesta a un riesgo de contaminación química. Su extensión variará y dependerá del tipo de acuífero y de la tasa de extracción, así como de la actividad industrial y agrícola que se desarrolle en la zona.

c) En toda la zona de captación.

(5) Al planificar la extracción del agua de un acuífero para el consumo humano la distancia mínima de seguridad (DMS) debe fijarse sobre la base del tiempo que tardan los contaminantes en viajar desde su punto de origen hasta los acuíferos de agua de beber, ello dependerá de las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona, la cantidad de materia fecal que es previsible que se descargue y el número de fuentes de contaminación existentes y planeadas.

(6) Para determinar la DMS para una zona, la información necesaria sobre el suelo y la geología locales se obtendrán mediante perforaciones u otros medios para localizar la capa freática y tomando en cuenta los cambios observables en el suelo y tipo de roca, en especial los cambios de tamaño de los granos, la compacidad, y la situación de las capas saturadas. También se deberá llevar a cabo una prueba de infiltración que indique la permeabilidad de la capa.

(7) Para llevar a cabo una prueba de infiltración se debe realizar una perforación (o más de una) de 10 cm de diámetro y de una profundidad de 3 m.

(8) Se debe llenar de agua la perforación o perforaciones y dejarla durante una noche para que el suelo se sature. Puede ser necesario volver a llenar la perforación varias veces hasta tener la certeza de que el suelo está saturado. Se debe volver a llenar la perforación hasta una profundidad de 30 cm., y medir el descenso del nivel del agua a los 30 y los 90 minutos. La velocidad de infiltración se medirá sobre la base del descenso del nivel de agua durante estos periodos. Para que el cálculo sea más preciso, se debe calcular el volumen de agua que se infiltra y así se obtiene un valor de la tasa de infiltración expresado en m^3/m^2-hora.

(9) De manera orientativa un valor de 10 m puede considerarse como la DMS absoluta admisible en las zonas de arcilla profunda e impermeable en las que no se abren grietas durante los periodos secos, sin embargo es preferible ante la ausencia de estudios sistemáticos aumentar la DMS a 30 m por lo menos.

(10) Para proyectos de gran importancia concebidos con la captación de aguas subterráneas, se debe establecer la conductividad hidráulica del suelo mediante las relaciones basadas en la ley de Darcy y establecer la Distancia Mínima de Seguridad (DMS) con mayor precisión.

(11) La tasa de movimiento de las aguas subterráneas varía según la permeabilidad del terreno; así puede variar entre fracciones de metro al día en las arcillas, de 1 a 10 al día en arenas, 50 al día en las gravas y ser más altas en las fisuras de las rocas. La DMS para arcillas impermeables puede ser de unos pocos metros, en caso de arenas llegar a los 100 m y en lechos de grava permeable llegar a varios kilómetros.

Reglamento Nacional NB 689

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE OBRAS DE CAPTACIÓN PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Segunda revisión

Diciembre 2004

ÍNDICE

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES 55
1.1 OBJETO 55
1.2 CAMPO DE APLICACIÓN 55
1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO 55

CAPÍTULO 2
OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES 56
2.1 DEFINICIÓN 56
2.2 TIPOS DE OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES 56
2.2.1 Obras de captación directa 56
2.2.1.1 Canal de derivación 56
2.2.1.2 Obra de captación lateral 57
2.2.1.3 Obra de captación de fondo 57
2.2.1.4 Estaciones de bombeo directo 57
2.2.2 Obras de captación indirecta 58
2.3 INFORMACIÓN NECESARIA 59
2.4 CAPACIDAD DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN 60
2.4.1 Ríos y arroyos 60
2.4.2 Lagos, lagunas y embalses 60
2.5 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA OBRA DE CAPTACIÓN SUPERFICIAL 60
2.5.1 Boca de toma (Reja) 60
2.5.2 Tubería - filtro 61
2.5.3 Lecho filtrante 62
2.5.4 Conductos y canales 63
2.5.5 Cámara colectora 63
2.5.6 Dispositivos de regulación y control 64
2.5.6.1 Válvulas 64
2.5.6.2 Compuertas 64
2.5.6.3 Vertederos y reboses 64
2.5.7 Dispositivos de medición 64
2.5.8 Obras de encause y protección 65
2.6 ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL 65
2.6.1 Presas de derivación 65
2.6.2 Presas de almacenamiento o embalse 67
2.7 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS DE DISEÑO 67
2.7.1 En ríos, riachuelos y arroyos 67
2.7.2 En lagos, lagunas y embalses 68
2.7.2.1 Emplazamiento del embalse 68
2.7.2.2 Capacidad del embalse 69

CAPÍTULO 3
OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRANEAS 71
3.1 DEFINICIÓN 71
3.2 TIPOS DE OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 71
3.3 INFORMACIÓN NECESARIA 72
3.4 CAPACIDAD DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN 72
3.5 OBRAS DE CAPTACIÓN DE VERTIENTES O MANANTIALES 72
3.5.1 Tipos de captación de vertientes 73
3.5.2 Requisitos de diseño de la obra de captación 73
3.6 OBRAS DE CAPTACIÓN DE ESTRUCTURA FILTRANTE (GALERÍA FILTRANTE) . .75
3.6.1 Tipos de galerías filtrantes 75
3.6.1.1 Galería o bóveda de infiltración tipo túnel 75
3.6.1.2 Tubería de infiltración 75
3.6.1.3 Canal de infiltración 76
3.6.2 Requisitos de diseño de las galerías filtrantes 76
3.6.2.1 Ubicación 76
3.6.2.2 Características 77
3.7 OBRAS DE CAPTACIÓN MEDIANTE POZOS SOMEROS 78
3.7.1 Tipos de pozos someros 78
3.7.2 Requisitos de diseño de pozos someros 78
3.7.2.1 Ubicación 79
3.7.2.2 Diámetro 79
3.7.2.3 Profundidad 80
3.7.2.4 Barbacanas 80
3.7.2.5 Sello sanitario 80
3.7.2.6 Cubierta 80
3.8 OBRAS DE CAPTACIÓN MEDIANTE POZOS PROFUNDOS 81

CAPÍTULO 4
OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA 82
4.1 DEFINICIÓN 82
4.2 TIPOS DE OBRAS DE CAPTACIÓN 82
4.2.1 Captación en la superficie del suelo 82
4.2.2 Captación en techos 82
4.3 DISEÑO DE LA OBRA DE CAPTACIÓN 82
4.3.1. Diseño de captación en techos 82
4.3.1.1 Datos de precipitación pluvial 82
4.3.1.2 Tipos de superficies en techos 83
4.3.1.3 Cálculo del volumen para la captación 83
4.3.2 Captación de agua de lluvia en atajados 85

ANEXOS

ANEXO “A”
FIGURAS - OBRAS DE CAPTACIÓN 87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de un vertedero de Perfil Creager para Q = 1 m^3/s 66
Tabla 2. Ubicación de pozos respecto a fuentes de contaminación
en terrenos comunes 79
Tabla 3. Ubicación de pozos respecto a fuentes de contaminación
en terrenos de grava gruesa 79

PARTICIPANTES

Las Instituciones y profesionales que participaron en la revisión y actualización del presente Reglamento fueron los siguientes:

Alvaro Camacho	Director General de Servicios Básicos VSB
Alcides Franco	Director de Area de Normas y Tecnología VSB
Marco Quiroga	Coordinador General PROAT
Enrique Torrico	VSB
Jorge Calderón	VSB
Frady Torrico	FPS La Paz
Ramiro Iporre	FPS Cochabamba
Eduardo Cuestas	FPS Santa Cruz
Edson Zelada	UNASBVI Cochabamba
Wilma Montesinos	VIPFE
Carlos Gámez	SISAB
Romel Chavez	Prefectura Santa Cruz
Evel Álvarez	AISA
Víctor Rico	CARE
Humberto Cordero	Consultor
Roger Mattos	Empresa Global
Gery Irusta	SED FMC
Jorge Saba	APSAR
Grover Calicho	PRODASUB - JICA
Manuel Elías	Empresa Misicuni

ELABORACIÓN
AGUILAR & ASOCIADOS S.R.L.

Humberto Cáceres	Gerente de Saneamiento Básico
Carlos España	Consultor
Grover Rivera	Consultor
Iván Alvarez	Diseño Gráfico

FINANCIADOR
Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Asdi)

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES

1.1 OBJETO

(1) El presente Reglamento tiene por objeto establecer los criterios técnicos y condiciones mínimas, que se deben cumplir en el diseño de obras de captación para sistemas de agua potable.

1.2 CAMPO DE APLICACIÓN

(1) Este Reglamento se aplica a nivel nacional para el diseño, ejecución o control de sistemas de agua potable públicos y/o privados.

(2) Es obligatorio el conocimiento y aplicación del Reglamento de Diseño de Obras de Captación, por el proyectista, ejecutor, supervisor y fiscalizador de la obra. Sin embargo, se podrán aplicar criterios de diseño, constructivos y métodos de control no especificados en el presente reglamento, toda vez que se justifiquen técnicamente ante la Autoridad Competente.

1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

(1) La elaboración del proyecto de obras de captación comprende las siguientes actividades:

a) Seleccionar el tipo de obra de captación a ser considerado.
b) Determinar el lugar exacto de la obra de captación.
c) Obtener la información básica y estudios hidrológicos, geotécnicos y geológicos.
d) Establecer la capacidad de la obra de captación.
e) Definir y diseñar los elementos constitutivos de la obra de captación.
f) Considerar aspectos complementarios de diseño.

CAPÍTULO 2
OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

2.1 DEFINICIÓN

(1) Una captación de agua superficial, es una obra civil, dispositivo o conjunto de ellas que permiten captar agua desde un curso superficial de forma continua, segura y sin detrimento de las condiciones de vida de las especies animal ni vegetal.

2.2 TIPOS DE OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

(1) Las obras de captación pueden ser:

2.2.1 Obras de captación directa

2.2.1.1 Canal de derivación

(1) Consiste en la construcción de un canal abierto en el margen de un curso superficial hasta una cámara colectora, desarenador o planta de tratamiento. (véase **Figura A.1** de **Anexo A**). Es aconsejable su utilización en ríos caudalosos con reducidas variaciones de nivel a lo largo del año hidrológico.

(2) En los casos en que la conformación de la sección transversal del curso así lo requiera, debe proyectarse un muro de encauce transversal, que oriente las aguas hacia la boca de toma en época de estiaje.

(3) El agua debe ser captada a través de un canal provisto de una reja y conducida por gravedad a lo largo de un conducto. Se debe prever la instalación de una compuerta de regulación de caudal. Posteriormente las aguas se deben conducir al desarenador por medio de una canal o tubería y continuar hasta la planta de tratamiento.

(4) El canal de captación debe tener pendiente suficiente para evitar la sedimentación de arena y material de arrastre que ingrese a través de la reja. El canal debe ser dimensionado para conducir la totalidad del caudal captado.

(5) El cálculo del canal debe realizarse como un conducto a superficie libre.

(6) El ancho de la base de fondo debe permitir las operaciones de limpieza mediante herramientas manuales.

(7) Aguas arriba y aguas abajo del canal de captación se debe realizar una obra de protección a lo largo de toda su longitud con un diseño en función de las características geomorfológicas, como medida de protección contra la acción erosiva de la corriente.

(8) La tubería o canal de conducción debe servir de enlace entre la captación y el desarenador.

2.2.1.2 Obra de captación lateral

(1) Es la obra que se construye en uno de los flancos de un curso de agua, de tal forma, que el agua ingrese a una cámara de recolección para su posterior conducción a través de tubería o canal. (véase **Figura A.2** de **Anexo A**).

(2) Este tipo de obra debe ser empleado en ríos de caudal limitado y que no produzcan socavación profunda.

(3) La obra de captación debe ubicarse en el tramo del río con mayor estabilidad geológica, debiendo preverse además, en el entorno de la obra de captación, obras de protección para evitar el desgaste natural.

(4) La obra de captación lateral puede emplearse también en presas derivadoras, ubicándose lateralmente a la presa o en cualquier punto del perímetro del vaso de almacenamiento.

(5) La boca de toma debe estar ubicada por debajo del nivel mínimo de las aguas y por encima del posible nivel de embancamiento.

(6) Debe estar constituida de un canal o conducto de entrada provisto de rejilla que impida el paso de material flotante y peces.

(7) Tanto en el caso de escurrimiento por canal como por conducto, a continuación de la obra de toma, las aguas deben ser conducidas hacia una cámara colectora.

(8) El agua del río debe circular por gravedad hacia una cámara desde donde debe ser conducida por bombeo o gravedad a la planta de tratamiento.

(9) Inmediatamente después de las rejas debe instalarse una compuerta estanca, capaz de permitir las operaciones de limpieza y mantenimiento y facilitar el aforo de caudales.

2.2.1.3 Obra de captación de fondo

(1) Es la obra que se construye en posición transversal en el fondo de los cursos de agua y está protegida mediante rejas que permiten el paso del agua. (véase **Figura A.3** de **Anexo A**).

(2) Se aconseja su empleo en ríos de poco caudal y gran pendiente. También se pueden utilizar en la cresta de presas derivadoras.

2.2.1.4 Estaciones de bombeo directo

(1) Son estructuras y equipos de bombeo para explotación directa desde un curso de agua.

(2) Se emplean en ríos o lagos donde las variaciones de caudal permitan un tirante mínimo y el arrastre de materiales en el agua no sea perjudicial.

(3) Se pueden presentar tres formas de bombeo directo:

a) Estación de bombeo fija, cuya localización de equipos de bombeo se realiza en el margen del cuerpo de agua. (véase **Figura A.4** de **Anexo A**).

b) Estación de bombeo flotante, cuando el equipo de bombeo está instalado sobre una plataforma flotante que permite la explotación de agua desde cualquier cuerpo de agua que esté o no sujeto a grandes fluctuaciones de nivel y de trayectoria de agua. (véase **Figura A.5** de **Anexo A**).

i) Las dimensiones de la estación deben ser adoptadas en función del tamaño y peso del equipo de bombeo.

ii) El equipo de bombeo debe ubicarse en una de las márgenes laterales con el filtro ubicado sobre el pontón flotante. La bomba y el motor deben estar ubicados por encima del nivel de aguas máximas, cuidando que al producirse el nivel de aguas mínimas la altura de succión no sobrepase los límites aconsejados.

iii) La caseta de bombeo debe estar provista de un dispositivo de ventilación a fin de lograr una aireación del recinto.

iv) El pontón flotante debe estar anclado para evitar posibles desplazamientos laterales y a una distancia de la orilla compatible con la sumergencia del filtro. Los anclajes deben estar provistos de guinches para poder cambiar con facilidad la posición del pontón.

v) La tubería de succión y la tubería de impulsión deben ser flexibles. La tubería de succión debe ser capaz de resistir sin deformaciones los esfuerzos de succión a que pueda estar sometida.

vi) La sumergencia del filtro debe ser adecuada y protegida para evitar el ingreso de desechos flotantes, algas u otros elementos que se encuentren en la superficie del agua, asimismo se debe evitar la succión de agua con alto contenido de sólidos o materia orgánica.

c) Bomba sumergible, cuando las variaciones de profundidad no son significativas y el arrastre de sólidos en suspensión es mínimo, se podrá instalar una bomba sumergible directamente. (véase **Figura A.6** de **Anexo A**).

2.2.2 Obras de captación indirecta

(1) Lechos filtrantes o prefiltración, constituidos por uno o más tubos perforados (drenes o filtros) introducidos transversal o diagonalmente en el lecho del río y cubiertos con material granular clasificado.

(2) El agua escurre a través del prefiltro granular hasta los drenes, para luego ser conducida mediante tubería colectora hasta la cámara recolectora lateral. (véase **Figura A.8** de **Anexo A**).

(3) Se puede utilizar en cursos de agua donde la socavación es excesiva o cuanso se pierda mucha agua a través del lecho del río. Se pueden construir obras subterráneas que permitan elevar el nivel del agua, ubicando los filtros aguas arriba del nivel del embalse.

(4) Este tipo de obra de toma se aconseja en cursos de agua superficial cuya turbiedad en época de lluvias sea menor a 150 UNT.

2.3 INFORMACIÓN NECESARIA

(1) Para el diseño de obras de captación de aguas superficiales, se deben considerar:

a) Datos básicos

i) Ubicación de las obras públicas y privadas existentes en la zona circundante que puedan afectar o ser afectadas por la obra de captación.
ii) Localización de posibles fuentes de contaminación (descarga de aguas residuales).
iii) Localización de estaciones meteorológicas, limnimétricas en la zona del proyecto.
iv) Tipos de cultivo y bosques en la zona del proyecto y área circundante.
v) Trabajos topográficos.

b) Estudios hidrológicos

i) Precipitación pluvial, escurrimiento, infiltración, evaporación, transpiración.
ii) Estudios climatológicos que comprendan datos sistemáticos de intensidad y dirección de vientos; análisis de datos de temperaturas máximas, medias y mínimas mensuales.
iii) Características hidrogeográficas de la cuenca, área de recarga y descarga.
iv) Datos, información o estimación de niveles máximos y mínimos de agua en el lugar de la captación.
v) Caudales máximos y mínimos en época de crecida y estiaje, respectivamente, durante un ciclo hidrológico.

c) Estudios geotécnicos y geológicos

i) Estudio de suelos.
ii) Características químicas de agresividad del suelo para establecer los materiales a emplearse.
iii) Permeabilidad del suelo y el subsuelo.
iv) Determinación de cortes transversales geológicos.
v) Determinación de fallas geológicas en el área circundante al proyecto.

d) Otros

i) Características físicas, químicas y bacteriológicas del agua para conocer su calidad, al menos en dos épocas del año (crecida y estiaje) tomadas en los posibles lugares de la obra de captación y afluentes de importancia.
ii) Condiciones sanitarias de la cuenca.
iii) Ubicación de los posibles sitios de captación.

2.4 CAPACIDAD DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN

2.4.1 Ríos y arroyos

(1) El caudal mínimo captado debe ser igual o mayor al:

a) Caudal máximo horario cuando no hay tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento.

b) Caudal máximo diario cuando hay tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento.

(2) Para el caso de ríos, los caudales de captación de agua deberán ser como promedio diario menores al 20% del caudal mínimo diario del río para un período mínimo de retorno de 5 años, tal como señala el artículo 48 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley del Medio Ambiente (Ley N° 1333). Sin embargo, el ingeniero proyectista podrá utilizar un mayor porcentaje del caudal del río, si lo justifica sobre la base de convenios de cesión de caudales y/o argumentos técnicos justificados ante la Autoridad Competente.

2.4.2 Lagos, lagunas y embalses

(1) Debe satisfacer el consumo medio diario, tomando en cuenta el caudal y volúmenes de fluctuación anual

(2) El caudal de bombeo debe ser estimado en función del número de horas de bombeo y/o el diagrama de masas

2.5 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA OBRA DE CAPTACIÓN SUPERFICIAL

2.5.1 Boca de toma (Reja)

(1) Las rejas de la boca de toma pueden estar ubicadas en el fondo (toma de fondo) o lateralmente (toma lateral) y están constituidas por barras paralelas de diferente sección y espaciamiento.

(2) La reja de la boca de toma empotrada en H°C° o en H°A° debe ser tal que permita el paso de agua a un depósito o canal de conducción y retenga los sólidos flotantes y peces.

(3) Para el cálculo se debe considerar un área efectiva mínima del flujo que pasa a través de las barras de la reja, que debe ser de 1,50 a 2,0 veces el área necesaria para el ingreso del caudal de diseño.

(4) El área total de la reja debe ser calculada considerando el área efectiva mínima del flujo que pasa y el área total de las barras, como se muestra a continuación:

Donde:
A_t Sección de la boca de toma en m^2
A_s Sección total de las barras en m^2

El d
n Número de barras
t Espesor de la barra en m
l Longitud de la barra en m
A_f Sección de flujo en m^2

---

c Coeficiente de mayoración por efectos de colmatación
c = 1,5 - 2,0
Q Caudal de diseño en m^3/s
k Coeficiente de forma
k = 0,82 (barras rectangulares)
k = 0,90 (barras circulares)
k = 0,98 (barras con curvas parabólicas)
v_a Velocidad de aproximación en m/s
v_a = 0,60 m/s a 1,00 m/s

(5) Para cursos de agua debe considerarse al menos dos rejas con diferente espaciamiento entre barras. La primera reja debe tener entre 2,00 cm a 2,50 cm de espaciamiento entre barras para retener sólidos flotantes de grandes dimensiones y la segunda de 3 mm a 5 mm para retener sólidos en suspensión y peces. En este último caso, la sección efectiva debe ser proporcionada por el fabricante.

(6) La distancia mínima entre rejas debe ser de 0,80 m disponiéndose un canal de limpieza entre rejas.

(7) Las barras de las rejas deben orientarse en forma paralela al flujo de agua para favorecer la limpieza.

(8) La reja debe colocarse en forma vertical o con un ángulo de inclinación de 45° a 60° respecto a la horizontal.

2.5.2 Tubería - filtro

(1) Estas tuberías deben ser empleadas en filtros de toma o para captar agua directamente del curso superficial.

(2) La superficie efectiva de los orificios o ranuras de la tubería - filtro debe permitir el paso de dos veces el caudal de diseño. El ancho de las ranuras debe estar entre 1 mm a 5 mm. El diámetro de los orificios debe ser menor al diámetro de los áridos de mayor tamaño del lecho filtrante.

(3) La longitud de la tubería - filtro debe calcularse en función del área efectiva de paso de agua, el caudal requerido y la velocidad a través de los orificios ó ranuras como se señala a continuación.

$$L = \frac{2 * Q}{A_f * v}$$

Donde:
- L Longitud total de la tubería - filtro en m
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- v velocidad del agua a través de los orificios ó ranuras en m/s v = 0,10 m/s a 0,15 m/s para evitar arrastre de partículas
- A_f Área efectiva de los orificios o ranuras por metro lineal en m^2/m

(4) La profundidad a la cual debe instalarse la tubería - filtro en el lecho del río no debe ser menor a 1 m, y debe ser recubierta con material granular seleccionado. Las tuberías - filtro deben ser protegidas mediante obras de H°A°, mampostería de H°C°, rocas o estructura metálica.

(5) Aguas arriba se deben prever obras adicionales para evitar la socavación de los filtros o para encausar el caudal del río.

(6) Como medida preventiva la tubería - filtro puede ser recubierta con geotextil resistente a la corrosión, cuya área efectiva permita el paso de dos veces el caudal de diseño.

(7) La elección del material de la tubería - filtro, depende de las características físico mecánicas de la tubería y características químicas del agua.

(8) En caso de utilizar ramales en paralelo, la distancia mínima entre ellas debe ser de 1,50 m para la captación de agua y su mantenimiento.

(9) En las tuberías - filtro debe disponerse al menos en uno de sus extremos, de una cámara de inspección y desarenador que permita la limpieza de la misma.

2.5.3 Lecho filtrante

(1) Consisten en mantos de áridos de diferentes diámetros. Se utilizan en la construcción de lechos filtrantes, galerías filtrantes y toma de vertientes.

(2) Para el caso de lechos filtrantes y galerías filtrantes, los áridos deben ser seleccionados de diferentes diámetros, que varían entre 6 mm a 40 mm, los mismos que deben ser colocados en capas concéntricas al menos de 0,20 m. El mayor tamaño debe estar en contacto con la tubería-filtro y gradualmente debe disminuir su tamaño hasta la profundidad de socavación para finalmente recubrirse con el material del lecho del río.

(3) La superficie de filtración debe calcularse prefijando la carrera del filtro (en función de la cantidad de material en suspensión), de tal modo que posibilite un mantenimiento adecuado. Para calcular la perdida de carga en el filtro se debe asumir una colmatación del 30%.

2.5.4 Conductos y canales

(1) Son obras civiles que permiten el escurrimiento controlado de agua.

(2) El tramo desde la boca de toma hasta la estación de bombeo, desarenador u otra estructura, puede ser realizado mediante conductos y canales abiertos o cerrados de derivación, de alivio y de conducción de agua, cuya sección sea suficiente para satisfacer la demanda de agua.

(3) La memoria de cálculo debe incluir los criterios utilizados, fórmulas, tablas, ábacos así como también el trazado de la línea piezométrica.

(4) En el cálculo de canales debe evitarse al máximo el escurrimiento cercano al crítico. La velocidad de escurrimiento en canales revestidos debe ser igual o mayor a 0,60 m/s para evitar la sedimentación de los sólidos. Dicha velocidad debe estar dada en función del tirante y del tipo de partículas en suspensión.

(5) En caso de adoptarse una sección rectangular o trapezoidal, la base de fondo debe estar entre 1,50 a 2,50 veces la altura del tirante de escurrimiento, esto por razones económicas.

2.5.5 Cámara colectora

(1) Están destinadas a colectar aguas y deben estar dispuestas de tal manera que permitan la retención de sólidos y puedan conducir el agua a otra unidad.

(2) Después de la boca de toma o de las tuberías filtro, se deben disponer de cámaras o depósitos colectores que cumplan al menos con dos de las tres funciones siguientes:

a) Retención de sólidos en suspensión y de material de arrastre que haya pasado la reja. Para ello, la cámara colectora debe considerar un volumen adicional de retención de sólidos igual a:

$$V_s = \frac{c * t * Q}{\rho}$$

Donde:

Vs	Volumen de retención de sólidos en m^3
c	Concentración de sólidos sedimentables en el agua en kg/m^3
t	Tiempo de retención de sólidos en días t <= 30 días
Q	Caudal captado en m^3/s
ρ	Peso específico del material sedimentable en kg/m^3 ρ = 1800 a 2200 kg/m^3

b) Regulación y control del caudal que ingresa a la tubería o canal de conducción en sistemas por gravedad.

c) Almacenamiento de agua que debe ser bombeado a una planta de tratamiento o tanque de almacenamiento. Para esto, la cámara se debe diseñar como cámara de bombeo.

2.5.6 Dispositivos de regulación y control

(1) Los dispositivos de regulación y control que pueden considerarse en las obras de captación son:

2.5.6.1 Válvulas

(1) Deben emplearse para la regulación y control de los caudales en tuberías.

(2) El material de las válvulas debe ser resistente a la corrosión del agua y estar protegido de agentes externos. Las válvulas deben estar ubicadas en cámaras.

2.5.6.2 Compuertas

(1) Deben emplearse para la regulación y control de caudales en canales.

(2) El material de la compuerta debe ser resistente a la corrosión y empuje del agua. Debe ser activado por un mecanismo sencillo que posibilite su operación.

(3) El tamaño de la compuerta debe ser determinado en función de las dimensiones del canal donde esté localizada.

2.5.6.3 Vertederos y reboses

(1) Son dispositivos que deben emplearse para el control del nivel del agua en obras de captación y sirven para la eliminación de caudales de excedencia o máximas crecidas.

(2) Deben emplearse vertederos de excedencias en presas derivadoras y canales o tuberías de rebose en cámaras colectoras.

2.5.7 Dispositivos de medición

(1) Son dispositivos destinados a la medición de los caudales de captación. Los dispositivos de medición deben ubicarse después de la boca de toma o cámara colectora.

(2) En tuberías deben utilizarse medidores de caudal (hidrómetros).

(3) En canales deben utilizarse vertederos rectangulares, triangulares, trapezoidales o circulares.

(4) Los medidores deben ser accesibles desde la superficie del terreno para facilitar su limpieza.

(5) El proyectista previa justificación técnica y/o económica podrá prescindir del uso de estos dispositivos.

2.5.8 Obras de encause y protección

(1) Estas obras deben permitir encausar y/o proteger el curso del río en una longitud determinada y construirse con espigones de H°C°, gaviones u otros.

(2) Deben ejecutarse en ríos que presentan cambios geomorfológicos en su curso y que ponen en riesgo la obra de toma.

(3) Deben ser calculadas para el empuje hidrodinámico del agua. Deben verificarse los cambios de dirección del curso debido a la construcción de éstas obras. Se debe considerar la tensión de corte, erosión y la profundidad de socavación.

2.6 ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL

2.6.1 Presas de derivación

(1) Sus funciones principales son las de retención y elevación del nivel de agua, de manera que permitan captar agua a través de:

a) Tubería - filtro, en un lecho de filtración construido junto a la presa y aguas arriba.
b) Tomas de fondo (rejas horizontales), construidas en la parte superior de la presa de derivación.
c) Tomas laterales, (rejas verticales) construidas a los costados de la presa.

(2) Para el diseño se debe determinar el caudal mínimo de estiaje y el caudal de época de crecidas con una recurrencia de al menos 10 años.

(3) El vertedero de la presa debe calcularse para la derivación del agua excedente, proveyéndose disipadores de energía aguas abajo para amortiguar la caída del agua .

(4) El perfil hidráulico del vertedero de la presa se calculará para el vertido de la lámina de agua a máxima velocidad, cuidando los problemas de cavitación e impacto. Se calculará para un período de retorno de al menos 20 años.

(5) Para un perfil Creager (véase **Figura A.7** de **Anexo A**), en la **Tabla 1** se presenta las coordenadas experimentales “x” e “y” de un vertedero para un caudal de 1 m^3/s. Para otros caudales, éstos deben multiplicarse por los valores especificados en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Valores de un vertedero de Perfil Creager para Q = 1 m^3/s

Coordenadas "x" e " y" (m)			
x	y	x	y
0,00	0,126	1,20	0,397
0,10	0,036	1,40	0,565
0,20	0,007	1,70	0,870
0,30	0,000	2,00	1,220
0,40	0,007	2,50	1,960
0,60	0,060	3,00	2,820
0,80	0,142	3,50	3,820
1,00	0,257		

Fuente: Manual de Hidráulica, Azevedo Netto

(6) Para garantizar la estabilidad, la presa de derivación se debe calcular para el peso propio, empuje hidrostático, empuje de suelos, subpresión y fuerza tangencial, en todo el radio hidráulico.

(7) Los coeficientes de seguridad a adoptar son los siguientes:

a) Al vuelco: mayor o igual de 2,00
b) Al deslizamiento: mayor o igual de 1,50

(8) Se deben verificar los distintos estados de cargas o solicitaciones a los cuales estará sometida la presa de derivación.

(9) El diseño de la estructura de la presa de derivación se verificará para los siguientes casos:

a) Presa de derivación en lecho rocoso: amerita la verificación de la longitud de la línea hidráulica, luego de haber diseñado el perfil Creager.

b) Presa de derivación de lecho granular: amerita el diseño del colchón y el dentellón para máximas crecidas y la respectiva verificación de la longitud de la línea hidráulica.

(10) La presa de derivación debe emplazarse transversalmente a la dirección de la corriente, prolongándose aguas abajo un colchón.

(11) El muro vertedor debe permitir la descarga del agua excedente.

(12) Deben proyectarse compuertas de accionamiento manual o eléctricas necesarias para permitir realizar las operaciones de servicio y mantenimiento.

(13) Las compuertas y los mecanismos de maniobra deben calcularse teniendo en cuenta las cargas máximas a las que se hallarán sometidas. Estos mecanismos de apertura y cierre deben ubicarse a una cota tal que no puedan ser afectados por el nivel de las máximas crecidas para la recurrencia del proyecto.

(14) La captación de las aguas debe realizarse mediante una cámara de toma, a partir de la cual el agua será conducida a través de la tubería de aducción hasta la planta de tratamiento, tanque de almacenamiento o estación de bombeo.

(15) En la salida del agua de la cámara de toma hacia la aducción, se deben proyectar rejas capaces de retener el material de arrastre que transporta la corriente, siguiendo los lineamientos del presente reglamento.

(16) Para la limpieza, el fondo de la cámara de toma debe ser proyectado con una pendiente inclinada hacia la compuerta del canal de limpieza.

2.6.2 Presas de almacenamiento o embalse

(1) Son obras cuyas funciones principales son el almacenamiento y regulación del caudal de un curso superficial.

(2) El proyecto de estas obras requiere un análisis exhaustivo de las condiciones hidrológicas, hidromorfológicas, geológicas, variaciones de temperatura en la cuenca, períodos y volúmenes de lluvia, velocidades de flujo de agua, cantidad de arrastre de sólidos, sedimentos, evaluación de impacto ambiental, estudio de la fauna piscícola, tiempos de acumulación de agua en la cuenca, contaminación de nutrientes, eutrofización y otros.

(3) Para el diseño de las presas se deben realizar diagramas de Ripley o curvas de almacenamiento para diferentes períodos estacionales, considerando caudales mínimos y máximos para un período mínimo de retorno de 50 años, en función a la magnitud de las obras.

(4) La obra de toma debe proyectarse de manera de captar el agua a diferentes niveles del cuerpo de la presa, canales o túneles perimetrales del vaso receptor, tomas flotantes o ancladas y/o grúas portantes.

(5) Las presas deben ser calculadas para las siguientes solicitaciones: peso propio, empuje hidrostático, empuje hidrodinámico, empuje de sedimentos, fuerzas tangenciales o cortantes en los extremos, subpresión, sismos, impacto de cuerpos flotantes, presiones subatmosféricas o cavitación, presiones hidráulicas en el perfil de rebose y disipadores de energía cinética del agua.

(6) En el proyecto de presas debe considerarse el uso de materiales locales disponibles en la zona para lograr una solución más económica.

2.7 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS DE DISEÑO

2.7.1 En ríos, riachuelos y arroyos

(1) La obra de toma debe estar ubicada en tramos rectos del curso de agua, para evitar erosión y sedimentación, embanques o azolves.

(2) La obra de toma debe estar ubicada aguas arriba y a una distancia razonable de descargas de aguas residuales domésticas e industriales u otra fuente potencial de contaminación.

(3) El suelo de la fundación debe ser estable y sólido aún en época de máximas crecidas.

(4) Debe ser de fácil acceso para que permita las operaciones de reparación, limpieza y mantenimiento.

(5) El sitio de la captación debe estar fijado de manera que la corriente no amenace la seguridad de la estructura de captación.

(6) Las instalaciones deben ofrecer estabilidad, solidez y capacidad para soportar crecidas previstas en el proyecto e incluir dispositivos de descarga o de excedencias.

(7) Deben reducirse al mínimo las modificaciones del curso de agua como consecuencia del emplazamiento de la obra de captación, considerando la erosión, sedimentos o embanques.

(8) Las operaciones de limpieza y mantenimiento no deben interferir en lo posible el normal funcionamiento de la captación.

(9) Las obras de captación deben contar con medios de acceso, protección, colocación de carteles o letreros y cerco para evitar el ingreso de personas ajenas y animales.

(10) En caso necesario, si la calidad del agua lo exige, debe considerarse el uso de rejas y/o desarenadores a continuación de la obra de toma.

(11) Las obras de captación deben ser diseñadas con mecanismos de fácil operación y mínimo mantenimiento.

2.7.2 En lagos, lagunas y embalses

2.7.2.1 Emplazamiento del embalse

(1) El emplazamiento del embalse debe ser tal que permita retener la máxima cantidad de agua con el mínimo de obras y ubicarse en un sector con mayores ventajas geológicas, topográficas y geotécnicas.

(2) El emplazamiento debe ser elegido de manera de contar con terrenos adecuados para la fundación de la estructura y que se encuentre lo más próximo posible a la población a servir.

(3) Para determinar si el terreno es apto para este tipo de estructuras, se deben realizar sondeos y perforaciones de prueba. Debe investigarse la existencia de rocas fisuradas o capas porosas a poca profundidad.

(4) Debe considerarse que, si las márgenes del embalse son acantilados y las aguas son profundas en las orillas, las fluctuaciones de nivel de agua no influyen en su calidad. En cambio, si grandes porciones de agua en las orillas del embalse son poco profundas y quedan al descubierto al descender el nivel del agua y posteriormente quedan nuevamente sumergidas, la calidad del agua se ve afectada por la descomposición de materia vegetal.

(5) En el estudio de la cuenca de aporte debe considerarse el efecto de la presencia de terrenos pantanosos, ya que dan lugar al desarrollo de microorganismos que alteran la calidad del agua del embalse. Tampoco son deseables las áreas montañosas con grandes extensiones de terreno cultivados, pues cuando se producen fuertes precipitaciones su escurrimiento da lugar a aguas muy turbias.
(6) En el estudio de la cuenca de aporte debe considerarse el efecto de la presencia de zonas que tienen alta densidad de habitantes o nuevos trazos de carreteras y vías férreas.

(7) La obra de captación debe ubicarse a una profundidad mayor a 0,30 m por debajo del espejo de agua de manera que no capte agua con sólidos flotantes, algas y plantas acuáticas. En época de estiaje, la distancia entre el fondo del embalse y la cara inferior del filtro debe ser mayor a 0,50 m de manera que no capte agua turbia o con cierto contenido de materia orgánica.

(8) En lagos de gran magnitud se debe tener en cuenta la dirección de los vientos para la localización de la obra de toma, de manera que ésta no esté expuesta a la acción del oleaje.

(9) En lagos profundos las aguas deben captarse a mayores profundidades para conseguir una mejor uniformidad de temperatura y aprovechar al máximo el agua almacenada. La obra de toma debe proyectarse de manera de tener varias entradas situadas a diferentes niveles, con el objeto de captar las aguas más próximas a la superficie. Cada obra debe tener una reja con un espaciamiento entre barras de 3 cm a 5 cm y una válvula para la operación adecuada.

(10) La velocidad de agua en la reja no debe ser mayor a 0,60 m/s.

(11) Deben eliminarse todos los posibles focos de contaminación, adecuando las áreas perimetrales convenientemente, eliminando las viviendas y plantando árboles de hojas perennes. La repoblación forestal reduce la cantidad de barro y fango que sería arrastrado a la hoya de almacenamiento.

(12) Debe protegerse la vertiente y ríos afluentes para evitar contaminación de origen animal o humano y para evitar la erosión.

(13) Debe prohibirse el acceso de excursionistas, nadadores y ganado en la zona de la vertiente y áreas colectoras.

2.7.2.2 Capacidad del embalse

(1) La capacidad del embalse debe ser establecida con base a un estudio de aportes y demandas, para satisfacer la demanda en las distintas épocas del año.

(2) Para determinar la altura del embalse, deben realizarse estudios hidrológicos que permitan establecer la capacidad de almacenamiento, las máximas avenidas y el volumen para satisfacer el caudal requerido.

(3) Se debe estudiar si económicamente es favorable la construcción de más de una presa en lugar de almacenar el volumen total en una sola presa.

CAPÍTULO 3
OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

3.1 DEFINICIÓN

(1) Son estructuras, dispositivos o conjunto de ellas que permiten la explotación racional de un cuerpo o corriente de aguas subterráneas de forma continua, segura y sin detrimento de las condiciones hidrológicas, geológicas y ecológicas en los alrededores o aguas abajo.

3.2 TIPOS DE OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

(1) Las obras de captación a tomarse en cuenta pueden ser:

a) Captación de vertientes

i) Son obras que protegen los afloramientos naturales de agua subterránea de cualquier tipo de contaminación y permiten el ingreso de agua a los elementos de conducción de agua hacia el tanque de almacenamiento, distribución o planta de tratamiento.

ii) Las obras de captación de vertientes pueden ser:

ii-1) De fondo
ii-2) De ladera o lateral
ii-3) De bofedal

b) Estructura filtrante (Galería filtrante)

i) Es la estructura que permite captar agua subsuperficial a través de la construcción de una bóveda subterránea, mediante la instalación de tuberías de infiltración o la construcción de canales de infiltración, próximos al curso de agua superficial, ya sea en forma transversal o paralela.

ii) Las estructuras filtrantes pueden ser:

ii-1) Tipo galería o bóveda
ii-2) Tubería de infiltración
ii-3) Canal de infiltración

iii) Estas obras, deben ser proyectadas de manera interceptar el flujo natural del agua subsuperficial, para que ingrese, por gravedad, al interior de la estructura o tubería y sea conducida hacia una cámara recolectora en una de las márgenes del río.

iv) Este tipo de obra de captación, a diferencia de las captaciones por filtración vertical en ríos, deben captar las aguas subsuperficiales en las estaciones no lluviosas.

c) Pozos

i) Los pozos son obras que se realizan para captar aguas subsuperficiales y subterráneas.

ii) Los pozos se clasifican en:

ii-1) Pozos someros, captan agua subsuperficial de acuíferos de poca profundidad, hasta los 30 m. Pueden ser:

- Excavados
- Perforados

ii-2) Pozos profundos, captan agua subterránea a profundidades mayores a los 30 m. Pueden ser:

- Perforados manualmente
- Perforados con maquinaria

iii) La perforación manual corresponde a una técnica que utiliza equipos simples para perforar pozos de pequeño diámetro empleando los métodos de rotación y percusión, en terrenos de baja concentración de material granular.

iv) Los pozos perforados con máquina permiten captar aguas subterráneas profundas y requieren equipos de perforación especiales. Las técnicas de perforado podrán ser de percusión, rotación directa o reversa, inyección y otros.

3.3 INFORMACIÓN NECESARIA

(1) Para el diseño de obras de captación de aguas subterráneas se deben considerar:

a) Información del área de perforación
b) Estudios geohidrológicos
c) Otros

3.4 CAPACIDAD DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN

(1) El caudal a captar debe ser igual o mayor al:

a) Caudal máximo horario cuando no hay tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento

b) Caudal máximo diario cuando hay tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento

3.5 OBRAS DE CAPTACIÓN DE VERTIENTES O MANANTIALES

(1) Son estructuras, dispositivos o conjunto de ellas que permite la explotación racional de una afloración de agua subterránea de forma continua, segura y sin detrimento de las condiciones hidrogeológicas y ecológicas en los alrededores o aguas abajo.

3.5.1 Tipos de captación de vertientes

(1) De fondo, cuando se capta agua que emerge en terreno llano (véase **Figura A.9** de **Anexo A**).

(2) De ladera o lateral, cuando se capta una vertiente que aflora en una superficie tipo plano inclinado con carácter puntual o disperso (véase **Figura A.10** de **Anexo A**).

(3) De bofedal, cuando el afloramiento de la vertiente se realiza por múltiples venas de agua anegando el terreno y debiendo emplearse un colector para captar la totalidad del agua (véase **Figura A.11** de **Anexo A**).

3.5.2 Requisitos de diseño de la obra de captación

(1) Para el diseño de captación de vertientes, se debe recabar la información relativa a las características hidrogeológicas de la cuenca especificada en el Reglamento de estudios y parámetros básicos de diseño para sistemas de agua potable.

(2) El proyecto debe tomar en cuenta la protección de los afloramientos para evitar que se obturen y se contaminen. Esto debe ser realizado a través de la construcción de una cámara que permita la protección sanitaria de la fuente.

(3) Los manantiales termales no deben ser considerados como fuente de abastecimiento de agua, por presentar un alto contenido de minerales.

(4) La obra de captación de una vertiente debe contar con los siguientes dispositivos:

a) Cámara de captación hermética.
b) Criba en la entrada de la tubería de aducción.
c) Vertedero de excedencias al nivel de los afloramientos o tubería de rebose.
d) Tubería de aducción y válvula de cierre.
e) Tubería de limpieza.
f) Tubería de ventilación.
g) Zanja de coronamiento para interceptar el escurrimiento de aguas pluviales.
h) Cerco perimetral de protección para evitar el acceso de animales y personas.

(5) La obra de captación de vertiente debe cumplir las siguientes condiciones:

a) Debe estar realizada de manera de no alterar la calidad del agua, garantizar el libre escurrimiento hacia la cámara de toma y no interferir el régimen hidráulico de la fuente.

b) La tubería de salida debe estar ubicada al menos a 0,10 m del fondo de la cámara colectora y deberá disponer de criba o filtro de entrada con orificios de 2 mm a 5 mm. El diámetro debe ser calculado a partir del caudal de diseño.

c) Debe contar con un dispositivo de rebose que permita la salida de los caudales de excedencia sin retrocargar el manantial. El dispositivo debe diseñarse como vertedero o tubería. El diámetro debe garantizar la evacuación del caudal máximo de la vertiente.

d) En el fondo de la cámara de toma se debe disponer de un acumulador de arenas acarreadas por las aguas y facilitar su limpieza periódica.

e) Se debe diseñar una tubería de limpieza, al nivel del piso de la cámara colectora. El piso debe tener una pendiente mayor o igual a 1,50% para permitir la limpieza de sedimentos. El diámetro mínimo de la tubería de limpieza debe ser un diámetro comercial mayor al de la tubería de aducción.

f) La cámara de toma debe contar con una tubería de ventilación, ubicada en su parte superior. Debe incorporar una malla milimétrica para evitar el ingreso de insectos y animales.

g) La cámara debe contar con una tapa sanitaria de 0,60 m x 0,60 m con cierre hermético para evitar ingreso de aguas superficiales, insectos, roedores y todo elemento extraño.

(6) Las dimensiones de la obra de toma deben ser calculadas en función del caudal de diseño y la capacidad de producción de la vertiente.

(7) Si la vertiente se presenta como un afloramiento único y localizado, la obra debe ser diseñada construyendo el fondo natural de la vertiente, hasta alcanzar el manto acuífero. A continuación de la cámara de toma se debe ubicar la cámara de válvulas.

(8) En el caso en que se presenten varios manantiales cercanos unos a otros, la captación debe proyectarse con varias cámaras de toma conectadas a una cámara común.

(9) Si el afloramiento se presenta a lo largo de una sola línea, bofedales o terrenos anegadizos, se debe captar la cantidad necesaria de agua mediante tubos perforados con orificios o ranuras de 2 mm a 4 mm; instalados dentro de un dren ciego construido con material granular seleccionado de diámetro variable entre 1,00 cm y 8,00 cm, que funcionen como colectores y conduzcan las aguas hacia una cámara colectora.

(10) La estructura de captación de la vertiente puede ser ejecutada en mampostería de ladrillo gambote, piedra, H°C° o con H°A°, con revestimiento interior impermeabilizante en todas sus paredes de 2 cm de espesor como mínimo, para garantizar la hermeticidad de la misma.

(11) Los materiales empleados no deben alterar la calidad de las aguas.

(12) Los conductos dentro la cámara de toma y cámara de válvulas deben ser de PVC, FG u otro material de acuerdo a lo especificado por el Reglamento de tuberías, accesorios y válvulas.

(13) Las tuberías ubicadas fuera de las cámaras deben seleccionarse en cuanto a clase y material en función de la topografía de la zona, presiones y esfuerzos a que estén sometidos, características químicas del agua y grado de agresividad del suelo.

(14) En caso de suelos corrosivos deben proyectarse las protecciones adecuadas.

3.6 OBRAS DE CAPTACIÓN DE ESTRUCTURA FILTRANTE (GALERÍA FILTRANTE)

(1) Es la estructura que permite captar agua subsuperficial a través de la construcción de una bóveda subterránea, la instalación de tuberías de infiltración o la construcción de canales de infiltración próximos al curso de agua superficial, ya sea transversal o paralelamente.

3.6.1 Tipos de galerías filtrantes

(1) En función del nivel de aguas subsuperficial, rendimiento del acuífero y capacidad portante del terreno, se deben emplear los siguientes tipos:

3.6.1.1 Galería o bóveda de infiltración tipo túnel

(1) Debe estar construida en H°A° u H°C° cuya resistencia se calculará para el empuje del agua y el material granular del acuífero. Al menos en uno de sus extremos se debe disponer de una cámara de inspección para fines de operación y mantenimiento (véase **Figura A.12** de **Anexo A**).

3.6.1.2 Tubería de infiltración

(1) Puede ser de una o más tuberías filtro instaladas en paralelo o en espina de pez, conectadas a uno o más colectores principales y luego a una cámara colectora de registro (véase Figura A.13 de Anexo A).

(2) La longitud de la tubería de infiltración puede ser calculada en función del caudal unitario, utilizando la siguiente fórmula:

$$L = \frac{Q}{Q_u}$$

$$Q_u = \frac{2 * \pi * k * a}{\ln\left(\frac{2 * a}{r}\right)}$$

Donde:

L	Longitud de la tubería de infiltración en m
Q	Caudal a captar en l/s
Q_u	Caudal por unidad de longitud en l/s-m
k	Coeficiente de permeabilidad en l/s-m^2
a	Profundidad a la que se encuentra el conducto respecto al nivel de agua en m
r	Radio del conducto en m

(3) El número de orificios se puede determinar utilizando la siguiente expresión:

$$n = \frac{A}{a}$$

$$A = \frac{Q_u}{v_e * C_c}$$

$$a = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Donde:

	n	Número de orificios por metro
	A	Area de flujo en m^2
	a	Area de cada orificio en m^2
	Q_u	Caudal unitario en m^3/s-m
	v_e	Velocidad de entrada a los orificios en m/s
		v_e = 0,05 a 0,10 m/s
	C_c	Coeficiente de contracción
		C_c = 0,55
	d	Diámetro del orificio en m

3.6.1.3 Canal de infiltración

(1) El canal de infiltración puede construirse empleando mampostería de piedra, hormigón ciclópeo, bloques de hormigón u otro material inerte que permita la recolección de agua y su conducción a uno de sus extremos (véase **Figura A.14** de **Anexo A**).

3.6.2 Requisitos de diseño de las galerías filtrantes

(1) Para el diseño de galerías filtrantes se debe recabar información relativa a las características hidrogeológicas de la cuenca, datos sobre la disponibilidad de agua subsuperficial para el período de estiaje (período crítico) y el coeficiente de permeabilidad del subsuelo.

(2) Se debe realizar la excavación de pozos de sondeo (calicatas) en el lecho del acuífero para la determinación del rendimiento, analizar el tipo de material del subsuelo y la verificación del nivel más bajo de aguas libres. Para tal efecto, se deben excavar al menos dos pozos de sondeo o calicatas en los posibles extremos de la galería filtrante en las que se verificarán los rendimientos de los pozos ya sea mediante pruebas de bombeo o medición volumétrica.

3.6.2.1 Ubicación

(1) Las galerías filtrantes deben ubicarse en acuíferos que tengan un coeficiente de permeabilidad que permita captar al menos el doble del caudal de diseño y la fuente tenga características químicas aceptables, que la hagan utilizable.

(2) En el lugar elegido para la construcción de la galería, se debe obtener el perfil geológico del terreno a través de pozos de observación y/o sondeos geofísicos, en función de la magnitud del proyecto. Además, se debe obtener la granulometría del lecho para determinar las características del material filtrante.

(3) La capacidad y el coeficiente de permeabilidad del acuífero deben ser determinadas mediante pruebas de bombeo.

(4) El material filtrante debe estar dispuesto de tal manera que las líneas de flujo sean perpendiculares al mismo y dispuestas en capas, con una granulometría tal, que aseguren una adecuada permeabilidad y estabilidad.

3.6.2.2 Características

(1) El material filtrante debe tener una granulometría adecuada en relación a la granulometría del lecho.

(2) El material más fino debe ser mayor o igual al diámetro mínimo de la granulometría del lecho. El material granular de mayor tamaño debe tener un diámetro mayor o igual al tamaño medio de los cantos rodados del curso de agua. La grava y la arena deben colocarse en capas estratificadas de espesores adecuados y concéntricas al tubo o canal, de tal forma que los tamaños vayan disminuyendo de un máximo en el fondo (interior) hasta un mínimo en la parte superior (exterior).

(3) De acuerdo a las características de la corriente superficial o subterránea, la galería filtrante se debe construir en forma transversal o paralela a la misma.

(4) La clave de la galeria filtrante debe estar por debajo de la profundidad de socavación. Debe utilizarse una tubería de ventilación en uno de los extremos de la galeria.

(5) Si se utilizan galerías filtrantes tipo túnel, en las paredes y cúpula de la bóveda, se deben disponer orificios o barbacanas de 2,00 cm a 5,00 cm construidos al tres bolillo cada 15 cm a 25 cm de separación entre ellas.

(6) Si se utilizan tuberías de infiltración, la tubería colectora debe ubicarse en el fondo de la zanja, su diámetro debe ser determinado en función a las características del escurrimiento del agua, caudal que se requiera captar y de las condiciones de operación y mantenimiento. En ningún caso, el diámetro de la tubería debe ser menor a 100 mm.

(7) La tubería debe ser resistente a la corrosión del agua. El diámetro de los orificios varía de 2,5 cm a 5,0 cm dispuestos al tres bolillo con una separación de 15 cm a 25 cm y las ranuras deben ser de 2 mm a 10 mm. El área total de los orificios o ranuras debe calcularse fijando una velocidad máxima a través de ellos de 0,05 m/s a 0,10 m/s. El coeficiente de entrada por orificio debe ser de 0,55.

(8) La velocidad de escurrimiento en la tubería colectora no debe ser menor a 0,50 m/s para lograr su auto limpieza ni mayor a 1,0 m/s para limitar las pérdidas de carga.

(9) Si se utiliza canales de infiltración, éste debe tener en su parte superior ranuras cuyo tamaño debe estar entre 1 cm a 3 cm de ancho.

(10) Todos los drenes o barbacanas, deben estar por debajo del nivel freático mínimo, siendo éste el correspondiente a un período de estiaje.

(11) Deben preverse accesos por lo menos en los extremos de la galería para efectuar el mantenimiento correspondiente.

(12) Para la inspección de la galería, el pozo colector debe ubicarse en el extremo inferior, a partir del cual se construye la tubería de aducción.

(13) El sistema de captación debe estar provisto de medios o dispositivos que permitan su fácil limpieza y desinfección.

3.7 OBRAS DE CAPTACIÓN MEDIANTE POZOS SOMEROS

(1) Los pozos someros, captan agua subsuperficial y alcanzan profundidades de hasta 30 m.

3.7.1 Tipos de pozos someros

(1) Pueden ser:

a) Excavados
b) Perforados

3.7.2 Requisitos de diseño de pozos someros

(1) Los pozos someros deben construirse mediante excavación cuando se vea conveniente explotar las aguas freáticas y/o subsuperficiales ubicadas a profundidades menores a 30 m (véase **Figura A.15** de **Anexo A**).

(2) La explotación de los pozos excavados debe realizarse mediante bombas manuales, bombas eólicas, solares, eléctricas y/o accionadas por motores a combustión.

(3) A objeto de lograr estabilidad en las paredes del pozo, éste debe ser de forma circular.

(4) Los pozos excavados deben ser revestidos. El revestimiento puede ser de mampostería seca de ladrillo, piedra, hormigón o anillos prefabricados de hormigón centrifugado con fierro de construcción de 6 mm.

(5) El área de compactación debe acondicionarse de tal manera que garantice el paso del caudal necesario sin provocar derrumbes u otras alteraciones al acuífero.

(6) El fondo del pozo debe tener un filtro con capas de material de dimensiones variables, colocándose el más grueso arriba y el más fino abajo.

3.7.2.1 Ubicación

(1) El pozo debe estar ubicado aguas arriba de cualquier fuente real o potencial de contaminación.

(2) La distancia mínima del pozo a una fuente de contaminación está en función del tipo de subsuelo del área circundante a la obra. En la **Tabla 2**, se presentan las distancias mínimas a la cual deben estar los pozos respecto a las diferentes fuentes de contaminación.

Tabla 2. Ubicación de pozos respecto a fuentes de contaminación en terrenos comunes

Fuente de contaminación	Distancia de seguridad mínima (m)
Tanque séptico	20 a 30
Alcantarilla	20
Pozo absorbente	30 a 40
Campo de infiltración	20 a 30
Corral de granja con buen drenaje	30 a 50

(3) Para terrenos de grava gruesa, calcáreos o roca desintegrada deben aumentarse los valores de la **Tabla 2**, de acuerdo a lo especificado en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Ubicación de pozos respecto a fuentes de contaminación en terrenos de grava gruesa

Fuente de contaminación	Distancia de seguridad mínima (m)
Tanque séptico	100
Pozo absorbente	120
Campo de infiltración	100
Corral de granja con buen drenaje	140
Curso de agua descubierto	150

3.7.2.2 Diámetro

(1) El diámetro debe ser fijado de acuerdo con la capacidad de provisión de agua del acuífero y del proceso de construcción previsto.

(2) El diámetro del pozo está en función del método de excavación o perforación adoptado.

(3) Para pozos excavados manualmente, el diámetro efectivo mínimo debe ser de 1,00 m.

(4) En pozos perforados, el diámetro mínimo entubado debe ser de 50 mm.

3.7.2.3 Profundidad

(1) La profundidad que deben alcanzar los pozos debe estar en función de la profundidad y espesor de los acuíferos a explotarse.

(2) La profundidad del pozo debe ser tal que garantice durante todo el año el caudal de extracción previsto. La distancia mínima entre la válvula de pie y el nivel de abatimiento en época de estiaje (sumergencia mínima) debe ser de 0.50 m.

(3) La distancia entre la válvula de pie y el fondo del pozo debe ser de 0,50 m para evitar la succión de sólidos.

(4) La profundidad de los pozos no debe exceder los 30 m, la penetración en la capa acuífera puede alcanzar los 7 m, dependiendo de la formación geológica y la posición del nivel que se vaya a aprovechar.

3.7.2.4 Barbacanas

(1) En pozos con ademe de concreto, la parte ubicada en el estrato permeable debe llevar perforaciones dimensionadas previo estudio granulométrico del acuífero. El diámetro mínimo de las perforaciones, dependiendo de la granulometría, debe estar entre 10 mm a 25 mm, colocados al tres bolillo a distancias de 15 cm a 25 cm.

(2) En pozos con ademe de mampostería de piedra o ladrillo gambote se deben dejar espacios en la zona correspondiente al estrato permeable, de acuerdo a lo especificado en el anterior párrafo.

(3) Las barbacanas pueden proyectarse mediante perforaciones radiales. Dichas perforaciones deben encamisarse inmediatamente despues que sean perforadas, utilizando tuberías - filtro. Las perforaciones deben ubicarse al tres bolillo y en un material que cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad necesarios. El sistema debe estar en función de la naturaleza del terreno a atravesar, estabilidad y permeabilidad.

3.7.2.5 Sello sanitario

(1) En los pozos excavados se debe prever siempre la construcción de un sello sanitario que consiste en el hormigonado o impermeabilización de la parte superior del pozo, hasta una profundidad mínima de 3 m, en función de la fuente de contaminación y permeabilidad del material del subsuelo. Asimismo, se debe prever la ejecución de una losa de protección perimetral al pozo, sobre el nivel del terreno. El brocal del pozo debe sobresalir al menos 0,30 m por encima de la losa de protección.

3.7.2.6 Cubierta

(1) En los pozos excavados se debe prever la construcción de una cubierta o tapa, constituida por una losa sanitaria de protección ubicada sobre el nivel del terreno.

(2) La cubierta o tapa del pozo debe construirse en H°A° provista de una tapa sanitaria de inspección con cierre hermético de 0,60 m x 0,60 m.

(3) La unión entre la tubería de succión y la losa de hormigón debe sellarse de manera que no permita infiltraciones.

3.8 OBRAS DE CAPTACIÓN MEDIANTE POZOS PROFUNDOS

(1) Son pozos que captan el agua subterránea a profundidades mayores a 30 m.

(2) Los criterios técnicos para el diseño de pozos profundos, se presentan en el Reglamento Técnico de Diseño de Pozos Profundos para Sistemas de Agua Potable.

CAPÍTULO 4
OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

4.1 DEFINICIÓN

(1) Son estructuras, dispositivos o conjunto de ellas que permiten la captación de agua de lluvia para consumo humano, interceptando y recolectando el agua en depósitos, tanques de almacenamiento o atajados.

4.2 TIPOS DE OBRAS DE CAPTACIÓN

(1) Entre los tipos de captación de agua de lluvia se pueden considerar:

4.2.1 Captación en la superficie del suelo

(1) Se deben emplear en zonas donde los períodos de lluvia son cortos e intensos, se pueden almacenar grandes cantidades de agua a través de estanques o atajados construidos por debajo del nivel del terreno.

(2) Para evitar la contaminación del agua por parte de los animales, se debe construir un cerco de protección.

(3) En general el agua recolectada por este sistema debe ser tratada y desinfectada antes de ser utilizada para el consumo doméstico.

4.2.2 Captación en techos

(1) Están destinadas principalmente al abastecimiento familiar, se recomienda donde las condiciones de la superficie del techo de la vivienda lo permitan. Se deben emplear en zonas donde los períodos de sequía no son muy largos o en zonas donde existe lluvia durante periodos prolongados.

4.3 DISEÑO DE LA OBRA DE CAPTACIÓN

4.3.1. Diseño de captación en techos

(1) Para el diseño de las obras de captación de agua de lluvia en techos, deben considerarse los siguientes aspectos:

a) Datos de precipitación pluvial.
b) Tipos de superficies en techos.
c) Cálculo del volumen para la captación.

4.3.1.1 Datos de precipitación pluvial

(1) Se debe identificar la mejor fuente de información local sobre precipitaciones pluviales para el período más largo posible.

(2) Esta información se puede obtener de la estación meteorológica más próxima, la misma que permitirá determinar la cantidad de precipitación, duración en épocas secas y la cantidad de agua disponible.

4.3.1.2 Tipos de superficies en techos

(1) Se deben identificar las características de las coberturas de techos y el tipo de material de los mismos (calamina, asbesto, teja, paja, jatata). Esta información se debe cuantificar por familia y por comunidad.

(2) La superficie más recomendable son los techos de calamina galvanizada por su uso difundido en el país, por su economía y por poseer un coeficiente de escorrentía elevado.

(3) Los techos de asbesto - cemento no son recomendables ya que pueden liberar fibras, generando una alta concentración de asbesto en el agua recolectada.

(4) Los techos de paja, palma o jatata no son recomendables debido a la contaminación orgánica que generan y por el color característico que producen en el agua. Esta agua puede ser utilizada para otros fines como uso en sanitarios y brebaje para el ganado.

4.3.1.3 Cálculo del volumen para la captación

a) Determinación de la demanda

(1) La demanda debe ser estimada utilizando la siguiente relación:

$$D_e = 0{,}365 * n * D$$

Donde:
- D_e Demanda anual de agua en m^3/año
- n Número de usuarios
- D Dotación percápita en l/hab-d
  D = 10 a 20 l/hab-d

b) Determinación de la oferta

(1) La oferta de captación trimestral y anual debe ser estimada utilizando la siguiente relación:

$$V_t = 0{,}003 * C_e * S * p$$

$$V_a = 0{,}001 * C_e * S * P$$

Donde:
- V_t Volumen mensual captado en la superficie del techo en m^3/mes
- V_a Volumen anual captado en la superficie del techo en m^3/año

C_e	Coeficiente de escorrentía
	Ce = 0,95 para techo de calamina
	Ce = 0,90 para techo de teja
S	Superficie horizontal del techo en m^2
p	Precipitación mensual media en mm
P	Precipitación anual media en mm

(2) En caso de que la oferta sea menor a la demanda, los usos de la captación de agua de lluvia deben ser priorizados para la bebida y la cocina pudiendo utilizarse otras fuentes alternativas para otros usos.

c) Tanque de almacenamiento

(1) El dimensionamiento debe ser realizado en base a un análisis de la curva de masa y al gráfico de consumos acumulados y de abastecimiento, es decir, comparando la oferta y la demanda de agua.

(2) El volumen del tanque será determinado con la cantidad mayor almacenada durante la estación lluviosa y la última cantidad almacenada durante la época seca.

(3) Los tanques de almacenamiento pueden construirse en mampostería de piedra, ladrillo, ferrocemento u hormigón armado.

(4) El área aledaña al tanque debe tener drenaje pluvial a objeto de facilitar que el agua de lluvia y el agua de rebalse drenen a un lugar alejado del tanque.

(5) No es recomendable que el agua esté almacenada más de un mes en el altiplano y dos semanas en el oriente. En cualquiera de los casos el agua para consumo humano debe hervirse previamente o desinfectarse con una solución de hipoclorito de sodio.

d) Sistema de recolección

(1) Es el sistema de canaletas de calamina galvanizada que deben estar herméticamente selladas o soldadas a objeto de impedir las pérdidas por malas conexiones.

(2) Las canaletas pueden ser de sección circular o cuadrada y estar adecuadas para captar las lluvias intensas sin que rebalsen.

(3) Toda canaleta debe estar instalada con una pendiente mínima de 1%.

(4) Los anclajes de soporte de las canaletas deben estar instalados cada metro con platino de 3/4” asegurados a la estructura del techo.

(5) El diámetro mínimo de la bajante pluvial no debe ser menor a 4” (100 mm).

(6) El sistema de recolección de agua de lluvia debe funcionar de modo que permita desviar las primeras aguas que puedan contaminar el agua del tanque.

4.3.2 Captación de agua de lluvia en atajados

(1) El agua de lluvia captada en atajados debe necesariamente ser tratada y desinfectada.

(2) El agua almacenada de la escorrentía sobre terreno natural no es apropiada para consumo humano y resulta difícil y costoso tratarla.

(3) Debe impermeabilizarse el área de captación y conducir el agua al atajado o reservorio. La impermeabilización del terreno puede ser realizada con membranas sintéticas, empedrado y emboquillado con piedra, piedra pizarra o ladrillo.

(4) El volumen almacenado se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$V_{at} = 0{,}001 * C_e * S_i * (P - E)$$

Donde:
- V_{at} Volumen anual almacenado en el atajado en m^3/año
- C_e Coeficiente de escorrentía
  - Ce = 0,90 para membrana sintética (PVC, hyphalon, etc)
  - Ce = 0,80 para zampeado de cualquier material
- S_i Superficie de aporte en m^2
- P Precipitación anual media en mm
- E Evaporación anual media en mm

ANEXO “A”
FIGURAS - OBRAS DE CAPTACIÓN

Reglamento Nacional NB 689

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE POZOS PROFUNDOS PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Segunda revisión

Diciembre 2004

ÍNDICE

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES 103
1.1 OBJETO 103
1.2 CAMPO DE APLICACIÓN 103
1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO 103

CAPÍTULO 2
POZOS PROFUNDOS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 104
2.1 DEFINICIÓN 104
2.2 TIPOS DE POZOS PROFUNDOS 104
2.2.1 Pozos perforados manualmente, de pequeño diámetro 104
2.2.2 Pozos perforados con maquinaria 104
2.3 REQUISITOS DE DISEÑO DE POZOS PROFUNDOS 104
2.3.1 Ubicación 105
2.3.2 Distancia entre pozos 105
2.3.3 Diámetro 105
2.3.4 Profundidad 106
2.3.5 Tubo de revestimiento interno 106
2.3.6 Tipo de pozo 108
2.3.7 Longitud de la zona de captación (rejilla o filtro) 108
2.3.7.1 Acuíferos confinados 108
2.3.7.2 Acuíferos libres 109
2.3.8 Área libre de captación (ingreso) 109
2.3.8.1 Acuíferos que no requieren empaque de grava (prefiltro) 110
2.3.8.2 Acuíferos que requieren empaque 111
2.3.8.3 Diámetro de las rejillas o filtros 111
2.3.9 Diseño del empaque (prefiltro) 111
2.3.10 Abertura del filtro 112
2.3.10.1 Caso de capas acuíferas estratificadas 112
2.3.11 Selección del material y tipo de filtro 112
2.3.11.1 Grado de mineralización del agua 112
2.3.11.2 Presencia de película bacteriana 113
2.3.11.3 Resistencia estructural del filtro 114
2.3.12 Prueba de bombeo 115
2.3.12.1 Capacidad especifica 116
2.3.13 Cálculo de caudales 116
2.3.14 Prueba de verticalidad 117
2.3.15 Desinfección del pozo 117
2.3.16 Sello sanitario 118
2.3.17 Prevención contra la contaminación 118

ANEXOS

ANEXO “A”
FIGURAS - POZOS PROFUNDOS 119

ÍNDICE DE TA BLAS

Tabla 1. Relación entre el diámetro del pozo y el caudal de bombeo 105
Tabla 2. Espesores para tubos de revestimiento interno de acero 107
Tabla 3. Materiales de tuberías y filtros para pozos profundos 114
Tabla 4. Coeficiente de permeabilidad (k) 117

PARTICIPANTES

Las Instituciones y profesionales que participaron en la revisión y actualización del presente Reglamento fueron los siguientes:

Alvaro Camacho	Director General de Servicios Básicos VSB
Alcides Franco	Director de Area de Normas y Tecnología VSB
Marco Quiroga	Coordinador General PROAT
Enrique Torrico	VSB
Jorge Calderón	VSB
Frady Torrico	FPS La Paz
Ramiro Iporre	FPS Cochabamba
Eduardo Cuestas	FPS Santa Cruz
Edson Zelada	UNASBVI Cochabamba
Wilma Montesinos	VIPFE
Carlos Gámez	SISAB
Romel Chavez	Prefectura Santa Cruz
Evel Álvarez	AISA
Víctor Rico	CARE
Humberto Cordero	Consultor
Roger Mattos	Empresa Global
Gery Irusta	SED FMC
Jorge Saba	APSAR
Grover Calicho	PRODASUB - JICA
Manuel Elías	Empresa Misicuni

ELABORACIÓN
AGUILAR & ASOCIADOS S.R.L.

Humberto Cáceres	Gerente de Saneamiento Básico
Carlos España	Consultor
Grover Rivera	Consultor
Iván Alvarez	Diseño Gráfico

FINANCIADOR
Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Asdi)

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES

1.1 OBJETO

(1) El presente Reglamento tiene por objeto establecer los criterios técnicos y condiciones mínimas, que se deben cumplir en el diseño de pozos profundos para la captación de aguas subterráneas, utilizados para sistemas de agua potable.

1.2 CAMPO DE APLICACIÓN

(1) Este Reglamento se aplica a nivel nacional para el diseño, ejecución o control de sistemas de agua potable públicos y/o privados.

(2) Es obligatorio el conocimiento y aplicación del Reglamento Técnico de Diseño de Pozos Profundos para la captación de aguas subterráneas, por el proyectista, ejecutor, supervisor y fiscalizador de la obra, sin embargo, se podrán aplicar criterios de diseño, constructivos y métodos de control no especificados en el presente reglamento toda vez que se justifiquen técnicamente ante la Autoridad Competente.

1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

(1) La elaboración del proyecto de pozos profundos comprende las siguientes actividades:

a) Ubicar en forma precisa el pozo.
b) Seleccionar el diámetro útil del pozo.
c) Determinar la profundidad y tipo de pozo.
d) Especificar el tipo del tubo de revestimiento interno acero, PVC u otros.
e) Establecer la posición y longitud de la rejilla de captación.
f) Analizar la granulometría de formación acuífera.
g) Verificar la necesidad de un prefiltro.
h) Determinar la abertura o área útil del filtro.
i) Establecer las características del material del prefiltro (empaque de grava).
j) Realizar la prueba de bombeo para establecer el nivel estático y dinámico, cantidad y calidad del agua, velocidad de recuperación del acuífero, tramisibilidad, capacidad específica y radio de influencia.
k) Realizar la desinfección del pozo.
l) Determinar la longitud de impermeabilización del pozo (sello sanitario).
m) Establecer franjas de protección para evitar la contaminación.

CAPÍTULO 2
POZOS PROFUNDOS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

2.1 DEFINICION

(1) Son estrucuturas, dispositivos o conjuntos de ellos que permite la explotación racional de un cuerpo o corriente de aguas subterráneas mediante pozos profundos, de forma continua, segura y sin detrimento de las condiciones hidrológicas, geológicas y ecológicas en los alrededores o aguas abajo.

2.2 TIPOS DE POZOS PROFUNDOS

(1) De acuerdo a la técnica de construcción se clasifican en:

2.2.1 Pozos perforados manualmente, de pequeño diámetro

(1) Son pozos perforados de pequeño diámetro que deben ser construidos con equipo y herramientas simples, operadas manualmente y explotados mediante bombeo (véase **Figura A. 1** de **Anexo A**).

(2) Este tipo de pozos se deben contruir principalmente en terrenos arcillosos, limosos, arenosos e intercalación de los mismos.

2.2.2 Pozos perforados con maquinaria

(1) Consiste en una perforación de pozos de forma tubular practicada mediante la utilización de equipos de perforación a rotación, percusión o mixtos. La explotación de agua se debe efectuar mediante equipos de bombeo eléctricos.

2.3 REQUISITOS DE DISEÑO DE POZOS PROFUNDOS

(1) Los pozos profundos deben ser proyectados con el objeto de posibilitar la obtención de agua en forma continua, duradera y sin alterar su calidad.

(2) El período de funcionamiento diario del pozo debe ser menor o igual a 20 horas.

(3) Durante la perforación de un pozo piloto profundo, se debe llevar un registro sistemático del avance y resultados de la perforación referido al tiempo de perforación por metro, niveles de variaciones de la viscosidad y densidad del fluido, y toma de muestra para determinar el perfil litológico del pozo, para definir conjuntamente el perfilaje eléctrico y el diagrama constructivo.

(4) Concluida la perforación del pozo piloto, se debe correr el perfilaje eléctrico para definir el diseño constructivo del mismo y la profundidad del ensanche para el entubado.

(5) Para el ensanche del pozo se debe tomar en cuenta el diámetro de la tubería a ser instalada, hasta un diámetro tal que asegure un espacio anular entre el entubado y la pared del pozo de 11 cm a 20 cm para la disposición del empaque de grava.

2.3.1 Ubicación

(1) Para la ubicación de los pozos se deben tener en cuenta los siguientes factores:

a) El sistema de operación de pozos.
b) Potencia adicional e incremento de los costos por interferencia de pozos que estén uno cerca del otro.

(2) El sitio para la perforación y la profundidad del pozo debe estar basado en estudios hidrogeológicos y geofísicos de la zona.

(3) La distancia entre el punto de perforación a otras obras o instalaciones debe ser:

a) 5 m de predios y estructuras en general, excavaciones, galerías y canales.
b) 15 m aguas arriba, de cámaras sépticas, alcantarillado, unidades de tratamiento de aguas residuales.
c) 50 m aguas arriba, de pozos ciegos, fosas de aguas residuales, letrinas, líneas de irrigación subsuperficial, lagunas y fosas de oxidación.

2.3.2 Distancia entre pozos

(1) La distancia mínima entre pozos debe estar fijada en función del radio de influencia del pozo, determinada mediante pruebas de bombeo en el pozo de producción y el control de niveles en el pozo de observación, de acuerdo a la profundidad de los mismos.

(2) Los datos de la prueba de bombeo deben ser utilizados también para evaluar la interferencia entre cada uno de los pozos.

(3) La depresión del cono de influencia en un sitio dado, como resultado del bombeo simultáneo de varios pozos, es igual a la suma de las depresiones producidas en el mismo sitio por el bombeo individual de cada uno de los pozos.

(4) Excepcionalmente, cuando no exista información sobre pruebas de bombeo que hayan determinado el radio de influencia en la zona del proyecto, la distancia mínima entre pozos debe ser de al menos 500 m.

2.3.3 Diámetro

(1) El diámetro del pozo debe ser seleccionado en función del caudal de agua requerido, características del acuífero y equipo de perforación a emplearse. Para ello se recomiendan los valores de la **Tabla 1**.

Tabla 1. Relación entre el diámetro del pozo y el caudal de bombeo

Caudal a extraer (m^3/h)	Diámetro útil (mm)
Hasta 40	150
Hasta 60	200
Hasta 100	250
Hasta 150	300
Hasta 220	350
Hasta 300	400

(2) Para caudales menores a 20 m^3/h, el proyectista podrá utilizar un diámetro mínimo de 100 mm.

(3) Los diámetros se basan en bombas de baja velocidad (1800 rpm a 2200 rpm), por lo que el pozo debe ser diseñado tomando en cuenta la curva característica del impulsor para la velocidad que se desee emplear.

(4) El diámetro y profundidad del entubado debe estar acorde con el diámetro final del pozo perforado y de los resultados que se obtengan mediante el registro eléctrico que se hará posteriormente a la perforación del pozo piloto.

(5) El espacio anular mínimo entre la pared del pozo y el entubado debe ser de 0,05 m a cada lado.

(6) Hasta la profundidad donde debe ir dispuesta la bomba, el diámetro del entubado debe tener al menos una holgura de 0,05 m mayor a los tazones de la bomba.

(7) El diámetro del ademe debe definirse en función de la capacidad del equipo de bombeo calculado para garantizar el caudal de explotación programado. Asimismo, debe preverse una holgura adecuada para efectos de instalación, de manera que no se presenten riesgos de atascamiento por diferencias en la verticalidad del pozo.

(8) En pozos profundos, con niveles estáticos y dinámicos altos, el diámetro de la tubería puede reducirse a partir de la máxima profundidad a la que se proyecte colocar la bomba.

(9) Se recomienda que desde la superficie hasta una profundidad no menor a 5 m por debajo del nivel de los impulsores, el diámetro del entubado debe ser al menos 50 mm mayor que el diámetro de los tazones de la bomba.

2.3.4 Profundidad

(1) La profundidad del pozo debe ser tal, que logre penetrar en el acuífero, para captar el caudal requerido, con el objeto de disponer una longitud adecuada de filtro para satisfacer los requerimientos del proyecto.

(2) En acuíferos libres con espesores saturados inferiores a 30 m; el pozo debe penetrar todo el espesor del acuífero, para aprovechar al máximo su capacidad productiva, previendo la colocación del filtro desde el fondo hasta un máximo de la mitad del espesor saturado.

(3) En acuíferos confinados, el pozo debe penetrar todo el espesor del acuífero si el mismo fuera inferior a 30 m; previéndose la colocación del filtro en una extensión del 80% del espesor del acuífero. En acuíferos libres o confinados, con espesores mayores a 30 m; debe realizarse un estudio técnico económico para fijar la posición de entrada de agua en el pozo.

2.3.5 Tubo de revestimiento interno

(1) El tipo de material, el espesor de la pared y las propiedades físicas y químicas de los tubos de revestimiento interno, deben ser especificados tomando en cuenta los siguientes aspectos:

a) Resistencia al colapso.
b) Resistencia a la compresión axial.
c) Resistencia a esfuerzos mecánicos durante y después de su instalación (resistencia tensional).
d) Resistencia a la corrosión.
e) Tipo de junta a utilizar que permita ligazones o uniones seguras (collares para soldar o roscas).

(2) Los tubos de revestimiento deben cumplir las especificaciones establecidas en la Norma Boliviana correspondiente a tuberías.

(3) Para tubos de revestimiento interno de acero se deben considerar los espesores que se presentan en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Espesores para tubos de revestimiento interno de acero

Diámetro interno (mm)	Espesor (mm)
150	7,00
200	7,00
250	7,50
300	7,50
350	9,00
400	9,00

(4) Debe considerarse, también, como revestimiento y encamisado de un pozo a la tubería de PVC en toda su longitud, instalándose un filtro en el tramo de captación de agua subterránea con longitud suficiente para permitir la explotación del caudal requerido. El filtro debe construirse en la misma tubería de PVC con orificios o ranuras de 1 mm a 3 mm, horizontales o inclinadas 30°, con separación mínima de 1 cm entre ranura y ranura intercalada.

(5) Antes de instalar la tubería de revestimiento, se debe repasar la perforación del pozo ensanchado, a fin de eliminar cualquier deformación que pudiera haber surgido durante el proceso de ensanchado.

(6) El tubo de revestimiento interno debe estar fijado, sobresaliendo un mínimo de 0,30 m por encima de la losa de protección o sello sanitario del pozo.

(7) A lo largo de la columna de entubación se soldarán centralizadores, separados a 120° entre sí y con una distancia entre 15 a 20 m entre juego y juego. Los centralizadores no deben impedir la colocación del empaque de grava.

(8) La unión de tuberías de diferentes diámetros se debe efectuar por medio de un reductor de acero construido con el material de la misma tubería, el cual debe quedar soldado. En caso de ser de PVC, la reducción debe ser a rosca.

(9) Bajo ningún concepto el entubado se apoyará en el fondo del pozo. Una grampa de soporte apoyará en superficie, para mantener la columna de entubamiento colgado libremente en el pozo.

(10) En la parte superior de la tubería de revestimiento se colocará dos tuberías (piezométrica y engravadora) de 2” de diámetro y de una longitud de 7”, con su respectivo tapón. El objetivo de la tubería piezométrica es para realizar la medición de niveles de agua en el pozo y el objetivo de la tubería engravadora para aumentar grava a medida que se vaya acomodando la misma durante la explotación del pozo. Las dos tuberías deben estar diametralmente opuestas y el tramo saliente a la superficie puede tener una inclinación de 30° respecto a la cañería de entubación. (véase **Figura A.2** de **Anexo A**).

2.3.6 Tipo de pozo

(1) En el diseño, se debe considerar si el acuífero es libre o confinado.

(2) En el diseño de pozos con acuíferos libres, los abatimientos necesariamente afectan el espesor del acuífero y no tendrá sentido la utilización de áreas de captación en zonas donde no habrá penetración de agua.

(3) En cambio, en pozos con acuíferos confinados, los abatimientos por extracción de agua no deberán afectar el espesor del acuífero y la totalidad del estrato saturado puede ser utilizada como área de captación.

2.3.7 Longitud de la zona de captación (rejilla o filtro)

(1) En el diseño del pozo se debe considerar la posición y la longitud de la rejilla de captación de agua.

(2) Se deben considerar los siguientes casos:

2.3.7.1 Acuíferos confinados

(1) La disminución del área de acercamiento se presenta en un plano horizontal, siempre y cuando el nivel dinámico no descienda más del nivel superior del estrato saturado.

a) Acuíferos confinados homogéneos

i) El máximo abatimiento disponible debe ser igual a la distancia entre el nivel estático y la parte superior del acuífero.

ii) La rejilla debe tener una longitud del 70% al 80% del espesor de la capa del acuífero, lo que permite obtener entre el 90% al 95% de la producción total del acuífero.

iii) Para acuíferos con espesores menores a 8 m se debe instalar la rejilla en un 70% del espesor del acuífero.

iv) Para acuíferos con espesores entre 8 m a 15 m se debe instalar la rejilla en un 80% del espesor del acuífero.

v) La ubicación de la rejilla debe ser simétrica con respecto al espesor del acuífero.

b) Acuíferos confinados no homogéneos

i) En estos casos la rejilla debe colocarse en el estrato más permeable, aprovechando la totalidad del estrato saturado de mayor producción.

2.3.7.2 Acuíferos libres

a) Acuíferos libres homogéneos

i) En el diseño se debe proyectar en lo posible, la extracción del mayor caudal con el menor abatimiento.

ii) El caudal de explotación del pozo, debe ser tal, que el nivel dinámico se ubique por encima del nivel de la rejilla.

iii) En el diseño se debe considerar que el abatimiento de la tabla de agua esté entre 2/3 a 1/2 del espesor del acuífero. Por ello, la longitud de la rejilla debe ser entre 1/3 a 1/2 del espesor del acuífero.

iv) La rejilla debe ir ubicada en la parte intermedia de la zona saturada del acuífero.

b) Acuíferos libres no homogéneos

i) En este caso se debe aprovechar la parte más permeable del acuífero con el objetivo de lograr el mayor abatimiento. Esto no es siempre posible que se cumpla, pues la condición del bombeo provoca un descenso de nivel que determina su ubicación.

2.3.8 Área libre de captación (ingreso)

(1) El área libre debe ser ajustada por el diámetro de la rejilla y la abertura de la misma, aplicando la siguiente fórmula:

$$A_L = S_E * L_C$$

Donde:
- A_L Área libre de captación en m^2
- L_C Longitud de captación en m
- S_E Superficie específica en m^2/m. Proporcionada por el fabricante del filtro está en función del diámetro y tamaño de la abertura

(2) El diámetro de las aberturas debe ajustarse en función a la granulometría de los materiales del acuífero.

(3) Deben considerarse los siguientes casos:

a) Acuíferos que no requieren empaque de grava.
b) Acuíferos que requieren empaque de grava.

(4) Deben considerarse dos formas de aprovechamiento:

a) Instalando una rejilla que retenga un cierto porcentaje de material que permita con el desarrollo la disminución del material fino.

b) Disponiendo en el espacio anular del pozo un prefiltro con un espesor de material granular grueso que haga factible su aprovechamiento e incremente su permeabilidad: empaque artificial de grava seleccionada.

(5) El valor límite para considerar la necesidad de empaque de grava seleccionada debe ser establecido sobre la base del 40% del material retenido.

(6) Si el 40% del material retenido corresponde a tamaños de partículas iguales o mayores a 0,25 mm no se debe considerar el colocado de empaque de grava en el pozo.

2.3.8.1 Acuíferos que no requieren empaque de grava (prefiltro)

(1) Cuando el material granular existente en la formación acuífera, es lo suficientemente grueso o atraviese roca compacta fracturada, no se debe considerar la colocación de empaque de grava (prefiltro) por ser innecesario y antieconómico.

(2) Para la selección de la abertura del filtro, determinada mediante ensayos granulométricos, se debe usar malla determinada por el 85% que pasa (15% retenido) y seleccionar el tamaño comercial inmediatamente inferior.

a) Acuíferos homogéneos

i) En aquellos casos en que la granulometría del acuífero captado en el pozo no requiere empaque artificial de grava seleccionada, las aberturas deben ser tales que retengan el paso entre el 40% a 80% del material del acuífero, de acuerdo al coeficiente de uniformidad del mismo material.

ii) Debe utilizarse una menor abertura cuando las aguas son excesivamente corrosivas, ya que un aumento en el tamaño de las aberturas provocaría un ingreso de materiales finos.

b) Acuíferos no homogéneos

i) En este caso se tiene un rango más amplio para la selección del filtro, ya que un aumento en la abertura no influye en el paso de materiales más finos.

ii) Se deben considerar los siguientes aspectos:

ii-1) La abertura de la malla debe variar de acuerdo a la granulometría de los materiales del acuífero.

ii-2) Si existe una capa de material fino sobre una capa de material grueso, el filtro debe prolongarse 60 cm en el estrato del material más grueso.

ii-3) Cuando el tamaño de la abertura del material más grueso es mayor que el doble de la del fino, debe utilizarse una transición, cuyo tamaño sea el doble de la abertura pequeña y luego prolongarse 60 cm de ésta.

2.3.8.2 Acuíferos que requieren empaque

(1) Los acuíferos que deben llevar empaque, son diferentes a los perforados en forma manual, ya que la zona inmediata a la rejilla se hace más permeable, lo que equivale a un aumento en el diámetro efectivo del pozo, en estos casos es necesario colocar, en el espacio anular, grava seleccionada en función de la granulometría del acuífero.

(2) En acuíferos de arena fina debe emplearse empaque de grava para desarrollar al máximo el rendimiento del mismo.

2.3.8.3 Diámetro de las rejillas o filtros

(1) El diámetro del filtro debe ser igual o menor (caso de pozos telescópicos) al diámetro de la camisa del pozo.

(2) El diámetro de las ranuras o aberturas del filtro, debe ser determinado sobre la base de la velocidad de entrada de agua a través de las mismas.

(3) La velocidad a través de las aberturas debe ser igual o menor a 3,00 cm/s para minimizar tanto las perdidas por fricción como la relación de incrustación y corrosión. Se admite una velocidad máxima de 5,00 cm/s cuando la extracción de agua sea igual al rendimiento máximo del pozo.

(4) Si las velocidades son menores a 1,50 cm/s debe disminuirse el diámetro de la abertura del filtro.

(5) Para condiciones especiales del material del acuífero se debe consultar al fabricante o proveedor.

(6) Cuando los caudales de bombeo son bajos, el diámetro del filtro debe ser fijado en función del diámetro de la bomba a instalarse. Por debajo del nivel de colocación de la bomba puede reducirse el diámetro del filtro, pero considerando siempre las velocidades de entrada ya mencionadas.

(7) En el diseño de pozos telescópicos, la bomba debe ubicarse encima de la reducción del diámetro del entubado.

2.3.9 Diseño del empaque (prefiltro)

(1) El material utilizado para el empaque, debe ser estable física y químicamente en el agua.

(2) Para el diseño del empaque de grava seleccionada o prefiltro, debe considerarse la relación entre la gradación de la grava y la abertura del filtro a utilizar.

(3) El espesor mínimo del empaque debe ser definido en función al diámetro de los materiales del acuífero. Espesores muy grandes impiden el normal desarrollo del pozo ya que la agitación no alcanza en forma efectiva a los granos de arena del acuífero.

(4) La selección de la abertura del filtro debe ser realizada para retener grava y ésta a su vez para retener el material del acuífero.

(5) Para la selección de la abertura del filtro se debe utilizar el método del U.S. Bureau of Reclamation, que especifica lo siguiente:

a) Dibujar en papel semilogaritmico la curva de porcentajes que pasa versus abertura.
b) Determinar el diámetro medio (D50) y multiplicar por 12 y 58.
c) Graficar los puntos 12 D50 y 58 D50.
d) Determinar el diámetro de la malla D15 y multiplicar por 12 y 40.
e) Graficar estos puntos 12 D15 y 40 D15 sobre la horizontal correspondiente al 15% que pasa.
f) Unir los puntos 12 D50 y 12 D15
g) Unir los puntos 58 D50 y 40 D15
h) Estas dos rectas proporcionan los límites de la granulometría de la grava. El tamaño de la grava no debe ser mayor al tamiz N° 12, para ello, se traza una vertical por dicho valor, el polígono hallado limita el tamaño de la grava.
i) La curva ideal debe estar contenida en este polígono y debe trazarse aproximadamenteparalelamente a la del acuífero.

(6) El ingeniero proyectista podrá utilizar otros métodos de diseño o manuales de fabricantes existentes, si lo justifica técnicamente.

2.3.10 Abertura del filtro

(1) La abertura del filtro debe ser tal que permita estabilizar el empaque de grava.

(2) La determinación de la abertura debe ser efectuada en forma similar a la de los pozos perforados manualmente, esto es igual a la mitad de la malla determinada por el D85 (15% retenido) y seleccionar la malla comercial inferior.

2.3.10.1 Caso de capas acuíferas estratificadas

(1) En estos casos las ranuras del filtro deben variarse adoptando los criterios indicados para cada condición, además tomar en cuenta las siguientes condiciones:

a) Cuando existan capas intercaladas de material fino y grueso, debe prolongarse la longitud del filtro al menos en 60 cm en el estrato mas grueso.

b) Cuando exista una capa gruesa sobre una fina, la abertura del filtro no debe ser mayor al doble de la más fina. Si las granulometrías existentes así lo imponen, se debe incluir entre ambas una transición que cumpla esta relación con una longitud no menor a 30 cm.

2.3.11 Selección del material y tipo de filtro

2.3.11.1 Grado de mineralización del agua

(1) El grado de agresividad del agua obliga a seleccionar un material con mayor resistencia a esta acción, tomando en cuenta el costo del filtro.

(2) El grado de agresividad se determina mediante el Índice de Languelier, que se muestra a continuación:

Índice de Languelier = pH - pHs

Donde: pH Potencial de hidrógeno del agua del acuífero
pHs Potencial de hidrógeno de saturación

(3) Cuando el Índice de Languelier es negativo el agua es corrosiva.

(4) En el grado de corrosión se debe considerar:

a) La presencia de oxígeno disuelto en concentraciones superiores a 2 mg/l es un indicativo de la corrosividad del agua subterránea.

b) El contenido de CO_2 en concentraciones superiores a 60 mg/l tiende a aumentar la corrosividad del agua.

c) Agua con contenido de cloruros en concentraciones superiores a 500 mg/l presenta características corrosivas, siendo mayor a medida que la concentración de cloruros se incrementa.

d) La presencia de sulfuro de hidrógeno (H_2S) es causa para suponer acción corrosiva.

e) El grado de mineralización da una idea de la capacidad de conducir corriente eléctrica en el agua (conductividad), lo que a su vez puede ser causa de corrosión de origen eléctrico.

f) La presencia de sólidos disueltos totales en concentraciones superiores a 1000 mg/l es un indicativo de la corrosividad del agua.

(5) Cuando el Índice de Languelier es positivo, el agua es incrustante por lo que se presentan depósitos de minerales que tienden a obstruir el filtro.

(6) En el grado de incrustación se debe considerar:

a) Alto contenido de carbonato de calcio o aguas con durezas altas.
b) Alto contenido de hierro.
c) Alto contenido de manganeso en presencia de oxígeno disuelto y a pH alto.

(7) En el caso de aguas incrustantes, debe elegirse filtros resistentes a la incrustación ya que su eliminación solo puede hacerse mediante la aplicación de ácidos capaces de destruir dicha incrustación.

2.3.11.2 Presencia de película bacteriana

(1) En el caso de presencia de bacterias no patógenas, como son las bacterias ferruginosas, sulfurosas y magnésicas debe preverse la selección de filtros construidos con material resistente a la corrosión, pues la película biológica formada por el crecimiento de dichas bacterias y la precipitación de hierro disuelto solo puede eliminarse con la acción de agentes

disolventes y desincrustantes como el cloro y el ácido clorhídrico. Se pueden buscar otras alternativas con productos desincrustantes que no sean tóxicos.

2.3.11.3 Resistencia estructural del filtro

(1) Los filtros deben satisfacer adecuadamente las condiciones de solicitación a las que se hallarán sometidas.

(2) Debe considerarse:

a) Resistencia al colapso.
b) Resistencia a la compresión axial.
c) Resistencia a esfuerzos mecánicos durante y después de su instalación (resistencia tensional).
d) Esfuerzos de tracción, en el caso de filtros intermedios, en las cuales pende una longitud determinada de tubería.
e) Resistencia a la corrosión.
f) Tipo de junta a utilizar que permita ligazones o uniones seguras (collares para soldar o roscas).
g) Las características de fabricación de filtros para pozos y su uso, se presentan en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Materiales de tuberías y filtros para pozos profundos

Nombre del material	Análisis	Factor de costo	Uso recomendado
Monel	70% níquel 30% cobre	1.50	Grandes cantidades de cloruro de sodio combinado con oxígeno disuelto, tal como el agua salada. Usualmente no suele instalarse para pozos de agua potable.
Súper níquel	70% cobre 30% níquel	1.20	Casos como el anterior pero con aguas no tan corrosivas.
Everdur	96% cobre 3% silicón 1% manganeso	1.00	Dureza total muy alta, altos contenidos de cloruro de sodio (sin oxígeno disuelto Alto contenido de hierro. Es extremadamente resistente al tratamiento con ácido presente).
Acero inoxidable	74% acero 18% cromo 8% níquel	1.00	Sulfuro de hidrógeno. Oxígeno disuelto. Dióxido de carbono. Bacterias ferruginosas.
Latón cobrizo silícico	83% cobre 15% zinc 1% silicón	0.90	Tiene los mismos usos que el Everdur, pero no es tan bueno ni tan resistente. Se usa en aguas relativamente inactivas.
Hierro Armco	93.84% hierro puro. (doble galvanizado)	0.60	No es resistente a la corrosión.Se usa para pozos de irrigación en zonas donde las aguas son relativamente neutras.
Acero	99.35%/99.72% hierro 0.08%/0.15% carbón 0.20%/0.50% manganeso doble galvanizado	0.50	No es resistente a la corrosión.Se usa en pozos temporales como pozos de prueba o pozos de drenaje. Se usa en el caso de aguas no corrosivas ni incrustantes.
PVC	(de alta resistencia)		100% polivinil de cloruro Resistente a la incrustación y corrosión. Bajo costo.

Fuente: Abastecimiento de agua, Simón Arrocha.

2.3.12 Prueba de bombeo

(1) En las pruebas de bombeo deben utilizarse pozos de prueba, o un pozo permanente con uno o más pozos de observación, que deben estar a una distancia no menor a 15 m del pozo productor, con un diámetro mínimo de 100 mm.

(2) La duración mínima de la prueba de bombeo debe ser de 24 horas. Previa a ésta prueba se debe realizar una prueba escalonada para determinar el caudal optimo de bombeo para la prueba de larga duración.

(3) Durante la prueba de larga duración, se debe obtener la siguiente información:

a) Nivel estático inicial de cada pozo.
b) Caudal de bombeo, medido con espacios de 1, 3, 5, 10, 20, 40, 60 minutos, cada hora, cada 2 horas y cada 3 horas, hasta completar las 24 horas.
c) Nivel dinámico de bombeo, determinado en correspondencia con los tiempos en que se mide el caudal.
d) Velocidad de recuperación del acuífero.
e) Durante la prueba deben tomarse por lo menos dos muestras de agua, una a la mitad del tiempo de bombeo y otra al final para realizar el análisis físico químico y bacteriológico.
f) Si existen variaciones significativas de la calidad del agua, se deben tomar muestras a intervalos menores, suficientes para indicar dichas variaciones.
g) Se deben registrar los niveles de descenso del agua en los pozos de observación, con una exactitud de 0,10 m.
h) Se debe elaborar un gráfico representativo de la variación caudal - abatimiento, para determinar el caudal de explotación y otro abatimiento - tiempo para determinar el coeficiente de transmisibilidad, capacidad específica del pozo, radio de influencia y otros parámetros hidráulicos del pozo.

(4) La prueba de bombeo para un pozo perforado de gran profundidad, requiere el siguiente material:

a) Bomba.
b) Cable sumergible.
c) Medidor de caudal.
d) Sonda para medir descenso del nivel de agua.
e) Cronómetro.
f) Potenciómetro o generador de energía renovable.
g) Palanca de cuchillas.
h) Ademe o trípode de sujeción.
i) Roldanas.
j) Cables de acero galvanizado.
k) Herramientas para sujeción y trabajo con tuberías.
l) Tuberías de PVC, FG, A°C° y A°Co° (en función de la profundidad).

2.3.12.1 Capacidad especifica

(1) La capacidad específica se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CE = \frac{R}{A}$$

Donde:
- CE — Capacidad Especifica en l/s-m de abatimiento
- R — Rendimiento, Producción de agua en l/s
- A — Abatimiento en m
  A = Nivel estático – Nivel dinámico

(2) La capacidad específica debe utilizarse para determinar las características del equipo de bombeo.

2.3.13 Cálculo de caudales

(1) Para el cálculo de caudales en condición no equilibrio puede emplearse el método de Jacobs (analítico simplificado) o el método de Thies (gráfico).

(2) Para condición de equilibrio, puede utilizarse la ley de Darcy de la velocidad de flujo en medios porosos y la condición de continuidad, expresada por:

$$v = - k \left(\frac{dy}{dx}\right)$$

$$Q = - k * A \left(\frac{dy}{dx}\right)$$

$$r = \frac{(r_i + r_a)}{2}$$

Donde:
- v — Velocidad de escurrimiento en m/s
- k — Coeficiente de permeabilidad en m/s
- Q — Caudal en m^3/s
- A — Área de escurrimiento en m^2
- r — Radio medio del pozo en m
- r_i — Radio del tubo del filtro en m
- r_a — Radio del tubo de perforación en m
- dy/dx — Pendiente de la curva de abatimiento

(3) De donde se obtiene:

a) Para acuíferos libres

$$A = 2 * \pi * x * y$$

$$Q = k * \pi * m \left[\frac{(H^2 - h^2)}{\ln(\frac{R}{r})} \right]$$

b) Para acuíferos confinados

$$A = 2 * \pi * m$$

$$Q = - k * \pi * m \left[\frac{(H - h)}{\ln(\frac{R}{r})} \right]$$

Donde:
- R Radio del cono de influencia en m
- H Nivel o altura de la superficie freática horizontal (nivel estático) en m
- h Nivel de la superficie de agua en el pozo (nivel dinámico) en m
- m Espesor del acuífero en m
- H – h Abatimiento en m

(4) En la **Tabla 4**,se presentan valores medios del coeficiente de permeabilidad en función del tipo de material permeable.

Tabla 4. Coeficiente de permeabilidad (k)

Material	Coeficiente de permeabilidad k (m/s)
Arena, d = 4mm a 8 mm	0,035
Arena, d = 2 mm a 4 mm	0,025 a 0,030
Arena, d = 1 mm a 6 mm	0,003 a 0,008
Grava, d = 20 mm a 40 mm	0,03
Grava, d = 40 mm a 70 mm	0,035

2.3.14 Prueba de verticalidad

(1) Durante la perforación del pozo piloto, se efectuará la prueba de verticalidad del mismo, cada 50 m, hasta la profundidad correspondiente a la localización de la bomba. Puede utilizarse el método TOTCO o similar, que consiste en introducir en el pozo, un cable en el interior de una tubería con diámetro exterior de 1/2”; en caso de notarse desviación del pozo, debe corregirse la verticalidad.

2.3.15 Desinfección del pozo

(1) El pozo debe ser sometido a un proceso de desinfección. Para ello se debe calcular la cantidad de agua existente en el pozo e introducir una solución de cloro para conseguir una concentración de 50 mg/l a 150 mg/l, dependiendo de análisis bacteriológico, y dejarla durante 24 horas. Finalmente se procede a la limpieza del pozo, extrayendo todo el cloro que fue introducido.

2.3.16 Sello sanitario

(1) La colocación del sello sanitario comprende: la mezcla de materiales y la instalación.

(2) El sello sanitario puede ser realizado utilizando lechada de cemento, densidad 1,87 g/cm^3 o en su caso hormigón con una dosificación 1:2:3 (cemento:arena:grava).

(3) Es posible también utilizar con una mezcla de bentonita, cal y arcilla, utilizando 1/2 bolsa de bentonita, 1 bolsa de cal, 1 m^3 de arcilla y agua en cantidad tal que permita obtener una elasticidad y fluidez para que pueda ser introducido por una tubería hasta la profundidad del sello, en el espacio anular comprendido entre las paredes y el ademe del pozo.

2.3.17 Prevención contra la contaminación

(1) Se deben prever dispositivos y medidas de protección para que el pozo no se constituya en un vehículo de contaminación de las reservas de agua subterránea.

(2) Los pozos antiguos u obsoletos deben ser tapados y/o sellados, extrayendo si es posible, la tubería de revestimiento, filtro y demás accesorios del pozo.

(3) Los tramos arenosos de los pozos abandonados, deben ser sellados con lechada de cemento, densidad 1,87 g/cm^3.

ANEXO A
FIGURAS - POZOS PROFUNDOS

Reglamento Nacional NB 689

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE ADUCCIONES PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Segunda revisión

Diciembre 2004

tÍNDICE

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES 129
1.1 OBJETO 129
1.2 CAMPO DE APLICACIÓN 129
1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO 129

CAPÍTULO 2
ADUCCIÓN 130
2.1 DEFINICIÓN 130
2.2 TIPOS DE ADUCCIÓN 130
2.2.1 Aducción por gravedad 130
2.2.2 Aducción por bombeo 130
2.2.3 Aducciones mixtas 130
2.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE ADUCCIÓN 131
2.4 CAUDAL DE DISEÑO 131
2.5 UBICACIÓN 131
2.6 TRAZADO 132

CAPÍTULO 3
ADUCCIÓN POR GRAVEDAD 133
3.1 DEFINICIÓN 133
3.2 CANALES DE ADUCCIÓN 133
3.3 DISEÑO DE CANALES DE ADUCCIÓN 133
3.3.1 Tipos y formas de canales 133
3.3.2 Tipos de revestimientos 132
3.3.3 Caudal de diseño 132
3.3.4 Velocidades de diseño 132
3.3.5 Pendiente máxima y mínima 136
3.3.5.1 Tensión tangencial crítica de arrastre 136
3.3.6 Diámetro mínimo 137
3.3.7 Cálculo hidráulico y pérdidas de carga 137
3.3.8 Transiciones 140
3.3.9 Obras y dispositivos complementarios 140
3.3.9.1 Disipadores de velocidad 140
3.3.9.2 Dispositivos de derivación 141
3.3.9.3 Cruces de depresiones y elevaciones topográficas 141
3.4 CONDUCTOS A PRESIÓN 141
3.5 DISEÑO DE CONDUCTOS A PRESIÓN 142
3.5.1 Trazado de la aducción 142
3.5.2 Caudal de diseño 142
3.5.3 Determinación de cotas 142
3.5.4 Material y clase de tubería 142
3.5.5 Velocidades de diseño 143
3.5.6 Diámetros mínimos 144

3.5.7 Pendientes 144
3.5.8 Cálculo hidráulico y pérdidas de carga 144
3.5.8.1 Fórmula de Flamant 145
3.5.8.2 Fórmula de Darcy-Weisbach. 145
3.5.8.3 Fórmula de Hazen Williams 148
3.5.8.4 Pérdida de carga localizada 149
3.5.9 Presiones máximas y mínimas 150
3.5.10 Tuberías de aducción y accesorios 150
3.5.11 Profundidad de instalación 151
3.5.12 Cámaras y dispositivos de ingreso y salida 151
3.6 GOLPE DE ARIETE 153

CAPÍTULO 4
ADUCCIÓN POR BOMBEO 154
4.1 DEFINICIÓN 154
4.2 TIPOS DE BOMBEO 154
4.2.1 Bombeo en serie 154
4.2.2 Bombeo en paralelo 154
4.2.3 Bombeo por etapas 155
4.3 DISEÑO DE ADUCCIONES POR BOMBEO 155
4.3.1 Caudal de bombeo 155
4.3.2 Número de horas de bombeo 156
4.3.3 Tubería de succión 156
4.3.3.1 Diámetro de la tubería de succión 156
4.3.3.2 Altura de succión 156
4.3.3.3 Sumergencia mínima 157
4.3.4 Diámetro de la tubería de impulsión 157
4.3.5 Altura manométrica total o altura dinámica de bombeo 158
4.3.6 Dimensionamiento 158
4.3.7 Potencia del equipo de bombeo 158
4.3.8 Tuberías de aducción por bombeo 159
4.4 GOLPE DE ARIETE 159
4.4.1 Sistemas por bombeo 160
4.4.1.1 Condiciones normales de operación 160
4.4.1.2 Condiciones de emergencia 160
4.4.2 Sistemas por gravedad 161
4.4.2.1 Condiciones normales de operación 161
4.4.2.2 Condiciones de emergencia 161
4.4.3 Presiones máximas y esfuerzos a ser absorbidos. 161
4.4.4 Presiones mínimas 162
4.4.5 Métodos de estudio 163
4.4.5.1 Aducciones por bombeo 163
4.4.5.2 Aducciones por gravedad 164
4.5 ESPECIFICACIONES Y CONTROL DE CALIDAD 165
4.6 PRUEBAS DE PRESIÓN 166

CAPÍTULO 5
DISPOSITIVOS COMPLEMENTARIOS 167
5.1 GENERALIDADES 167
5.2 TIPO Y UBICACIÓN DE VÁLVULAS 167
5.2.1 Válvulas de bloqueo 167
5.2.2 Válvulas de purga y entrada de aire 167
5.2.3 Válvulas de desagüe 168
5.2.4 Columna de ventilación 169
5.2.5 Dispositivo antiariete 169
5.2.6 Válvula de protección contra golpe de ariete 169
5.2.7 Válvulas reductoras de presión 169
5.3 MATERIALES DE LAS VÁLVULAS 170

CAPÍTULO 6
ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS 171
6.1 ESTACIONES REDUCTORAS DE PRESIÓN 171
6.1.1 Válvulas reguladoras de presión 171
6.1.2 Cámaras rompe presión 171
6.2 ANCLAJES 172
6.3 CÁMARA DIVISORA DE FLUJO 173
6.4 ESTRUCTURAS ESPECIALES 173
6.4.1 Obras de arte 174
6.4.2 Protecciones 174

ANEXOS

ANEXO “A” FIGURAS - ADUCCIONES 175
ANEXO “B” MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE VARIABLE, CURVAS DE REMANSO . .186
ANEXO “C” REDUCCIÓN DE CAUDALES POR EVEJECIMIENTO DE TUBERÍAS 192
ANEXO “D” GOLPE DE ARIETE 194
ANEXO “E” VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE PRESIÓN 200
ANEXO “F” CALCULO DE LA PRESIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA EN BOMBAS 201
ANEXO “G” PROCEDIMIENTO DE ALLIEVI 205
ANEXO “H” SIMBOLOS GRÁFICOS 209

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos y formas de canales 134
Tabla 2. Velocidad máxima en canales revestidos (m/s) 135
Tabla 3. Tensión tangencial t0 (kgf/m2) para materiales finos no cohesivos 136
Tabla 4. Tensión tangencial t0 (kgf/m2) para materiales cohesivos 137
Tabla 5. Valores del coeficiente de rugosidad de Manning y Kutter para superficies de canales 139
Tabla 6. Valores del coeficiente de Bazin 139
Tabla 7. Velocidades máximas permisibles en tuberías 143
Tabla 8. Coeficiente b de Flamant 145
Tabla 9. Valores el coeficiente k de Colebrook 147
Tabla 10. Coeficiente k0 147

Tabla 11. Coeficiente k1 147
Tabla 12. Viscosidad cinemática del agua 148
Tabla 13. Valores del coeficiente C de Hazen-Williams 149
Tabla 14. Pérdidas localizadas en longitudes equivalentes
(En metros de tubería recta) 149
Tabla 15. Deflexión máxima en tuberías 150
Tabla 16. Refuerzo de tuberías 163

PARTICIPANTES

Las Instituciones y profesionales que participaron en la revisión y actualización del presente Reglamento fueron los siguientes:

Alvaro Camacho	Director General de Servicios Básicos VSB
Alcides Franco	Director de Area de Normas y Tecnología VSB
Marco Quiroga	Coordinador General PROAT
Reynaldo Villalba	VSB
Edwin Laruta	VSB
Marco Gómez	FPS La Paz
Oswaldo Valverde	FPS La Paz
Ramiro Plaza	FPS Santa Cruz
Edson Valda	FIS
Daniel Flores	HAM Vinto
Ronny Vega	ANESAPA
Evel Alvarez	AISA
Juan Carlos Agudo	SAMAPA
José Díaz	IIS-UMSA
Gregorio Carvajal	IIS-UMSA
Franz Choque	ABIS Cochabamba
Juan Carlos Holters	ABIS Santa Cruz
Leocanio Mendoza	CONAM SRL
Rolando Nogales	CONAM SRL
Pedro Lino	CEDEAGRO
Oscar Álvarez	Profesional independiente

ELABORACIÓN
AGUILAR & ASOCIADOS S.R.L.

Humberto Cáceres	Gerente de Saneamiento Básico
Carlos España	Consultor
Grover Rivera	Consultor
Iván Alvarez	Diseño Gráfico

FINANCIADOR
Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Asdi)

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES

1.1 OBJETO

(1) El presente Reglamento tiene por objeto fijar parámetros y establecer los criterios técnicos y condiciones mínimas, que se deben cumplir en la diseño de aducciones de agua, utilizadas para sistemas de agua potable.

1.2 CAMPO DE APLICACIÓN

(1) Este Reglamento se aplica a nivel nacional para al diseño, ejecución o control de sistemas de agua potable públicos y/o privados.

(2) Es obligatorio el conocimiento y aplicación del Reglamento Técnico de Diseño de Aducciones de Agua, por el proyectista, ejecutor, supervisor y fiscalizador de la obra. Sin embargo, se podrán aplicar criterios de diseño, constructivos y métodos de control no especificados en el presente reglamento toda vez que se justifiquen técnicamente ante la Autoridad Competente.

1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

(1) La elaboración del proyecto de aducciones comprende las siguientes actividades:

a) Obtener los datos y estudios básicos de diseño.
b) Establecer el tipo de aducción.
c) Definir la directriz de la aducción y trazado.
d) Establecer la capacidad de la aducción.
e) Seleccionar el material o tipo de revestimiento.
f) Establecer los parámetros de diseño.
g) Realizar el diseño hidráulico mediante fórmulas de cálculo.
h) Considerar el uso de dispositivos complementarios (válvulas y accesorios, si es el caso).
i) Considerar el proyecto de obras de arte y estructuras complementarias.

CAPÍTULO 2
ADUCCIÓN

2.1 DEFINICIÓN

(1) Se denomina aducción, al conjunto de tuberías, canales, túneles, dispositivos y obras civiles que permiten el transporte del agua, desde la obra de captación hasta la planta de tratamiento, tanque de almacenamiento o directamente a la red de distribución.

2.2 TIPOS DE ADUCCIÓN

(1) En el diseño de aducciones, se pueden considerar los siguientes tipos:

2.2.1 Aducción por gravedad

(1) Aducción por conductos y canales a superficie libre, en la que el agua se conduce a una presión igual a la atmosférica, pueden ser túneles, tuberías y canales en general.

(2) Aducción por conductos cerrados a presión, en la que el agua se conduce a presiones superiores a la presión atmosférica, son generalmente tuberías de agua a sección llena.

(3) En lo posible debe utilizarse la aducción por conductos cerrados a presión, debido a las dificultades que presentan los canales en su construcción y mantenimiento, pero fundamentalmente debido a que están más expuestos a contaminación.

(4) Los canales abiertos que crucen zonas pobladas o zonas susceptibles de contaminación deben ser provistos de una cubierta de protección.

2.2.2 Aducción por bombeo

(1) Bombeo en serie, en la que se impulsa el agua con dos o más bombas instaladas en la misma línea de impulsión.

(2) Bombeo en paralelo, en la que se impulsa el agua con dos o mas bombas instaladas en sus respectivas líneas de impulsión.

(3) Bombeo por etapas, en la que se impulsa el agua de un nivel inferior a otro superior en más de una etapa.

2.2.3 Aducciones mixtas

(4) En la que el agua se puede conducir por canales o conductos a superficie libre, conductos a presión por gravedad o por bombeo, en cualquier secuencia y dimensiones. En estos casos, se deben cumplir las condiciones particulares a cada tipo de funcionamiento.

(5) En los puntos de transición de tramos definidos por los diferentes tipos de aducción no deben presentarse pérdidas de agua ni deficiencias en el conportamiento hidráulico.

2.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE ADUCCIÓN

(1) Para la selección del tipo de aducción deben considerarse:

a) Ubicación de la obra de captación respecto al centro poblado.
b) Topografía de la zona o área de proyecto.
c) Presiones máximas y mínimas.
d) Características del suelo.
e) Fuentes de energía disponibles.

2.4 CAUDAL DE DISEÑO

(1) El caudal de diseño de las obras de aducción depende del sistema de abastecimiento de agua:

a) Si el sistema es por gravedad y cuenta con un tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento la obra de aducción debe calcularse con el caudal máximo diario.

b) Si el sistema es por gravedad y no cuenta con un tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento, y la aducción se efectúa directamente a la red, la obra de aducción debe calcularse con el consumo máximo horario.

c) Si la aducción es por bombeo y el sistema incluye tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento, la aducción debe calcularse en función al caudal máximo diario y el número de horas de bombeo; en cambio si el sistema no incluye tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento y el bombeo es directo a la red, la capacidad de la aducción debe calcularse con el caudal máximo horario.

(2) Cuando se efectúe un bombeo directo desde varios pozos a una línea de impulsión, el caudal de cálculo de ésta, debe ser la suma de los caudales de los pozos concurrentes.

(3) Si la obra de aducción conduce agua cruda que requiere tratamiento, se debe considerar en la capacidad de la aducción el consumo de agua de la planta potabilizadora estimado en un 5% a 10% del caudal máximo diario, de acuerdo a lo especificado en el Reglamento de plantas potabilizadoras de agua.

2.5 UBICACIÓN

(1) Para definir la ubicación de las obras de aducción se requieren:

a) Planos topográficos.
b) Estudio de suelos (en caso necesario).
c) Características de subsuelo (en caso necesario).
d) Datos geológicos (en caso necesario).
e) Requerimientos de obras de arte (puentes, sifones, cruces de carreteras, ferrocarriles y otros).
f) Derechos de propiedad y uso de la tierra.

2.6 TRAZADO

(1) El trazado de la aducción debe realizarse previo reconocimiento en campo del relieve topográfico, reconocimiento geológico y tipo de suelo, en lo posible paralelo a vías públicas y caminos de uso general de la población. Si se deben atravesar predios privados se debe establecer la correspondiente servidumbre.

(2) En el trazado de la aducción se deben considerar además del caudal de diseño, vida útil y análisis económico, los siguientes factores:

a) Que la conducción sea cerrada (en lo posible a presión).
b) Que el trazado sea lo más directo posible de la fuente a la planta de tratamiento y/o tanque de almacenamiento o red de distribución.
c) Que la línea evite, en lo posible, los tramos de difícil construcción o inaccesibles.
d) Que esté siempre por debajo de la línea píezométrica a fin de evitar zonas de depresión que representan un peligro de aplastamiento de la tubería y posibilidad de cavitación (en tuberías a presión).
e) Que se eviten presiones superiores a las máximas permisibles que afecten la seguridad de la aducción (en tuberías a presión).
f) Que en lo posible sean paralelos a los caminos de acceso o vías férreas.
g) Que la línea evite, en lo posible, zonas de deslizamiento e inundaciones.
h) Que se eviten tramos de pendiente y contrapendiente que pueden causar bloqueos de aire en la línea.

(3) Deben estudiarse variantes que se aparten de caminos si se presentan ventajas en los recorridos por hondonadas o puntos menos pronunciados o por rodeo de cañadones y de causes profundos, para evitar cruces directos con obras demasiado importantes.

(4) Se debe estudiar variantes para acortar la longitud de aducción (trazados en túnel), o evitar terrenos que tengan aguas freáticas muy superficiales.

(5) Cuando razones topográficas imposibiliten el uso del trazado estudiado para la línea de aducción o no existan caminos de acceso hasta la toma o planta de tratamiento debe estudiarse el trazado de una senda de manera que ésta este habilitada para el paso vehicular durante todo el año.

CAPÍTULO 3
ADUCCIÓN POR GRAVEDAD

3.1 DEFINICIÓN

(1) Se denomina aducción por gravedad al conjunto de tuberías, canales, túneles, dispositivos y obras civiles que permiten el transporte de agua, aprovechando la energía disponible por efecto de la fuerza de gravedad, desde la obra de capatación hasta la planta de tratamiento, tanque de almacenamiento o directamente a la red de distribución.

3.2 CANALES DE ADUCCIÓN

(1) Son acueductos que trabajan a superficie libre, en la que el agua esta en contacto directo con la atmósfera, su presión de trabajo es igual a la presión atmosférica. El movimiento de agua se debe netamente a la fuerza de la gravedad sobre la masa de agua.

(2) Los canales o conductos a superficie libre deben localizarse en lo posible, siguiendo las curvas de nivel que permitan una pendiente apropiada a fin de que la velocidad del agua no produzca erosiones o depósitos.

(3) En los canales a cielo abierto deben calcularse la pérdida por evaporación y tomarse en cuenta dichas pérdidas para incrementar la capacidad de conducción.

(4) En el cálculo deben incluirse el cálculo de secciones y de obras de arte requeridas.

(5) El trazado de los canales, en planta, puede estar constituido por tramos rectos, segmentos rectos acompañando una directriz curva o tramos curvos, pero en perfil deben estar preferentemente constituidos por tramos rectos, con pendiente uniforme.

3.3 DISEÑO DE CANALES DE ADUCCIÓN

(1) El diseño de canales debe realizarse considerando las siguientes variables:

a) Tipo de revestimiento.
b) Caudal.
c) Velocidad.
d) Pendiente máxima y mínima.
e) Forma del canal o diámetro mínimo.
f) Cálculo hidráulico y pérdidas de carga.
g) Transiciones.
h) Obras y dispositivos complementarios.

3.3.1 Tipos y formas de canales

(1) En la **Tabla 1,** se presenta una clasificación de los canales de acuerdo a su tipo y forma. (véase **Figura A.1** de **Anexo A**).

3.3.2 Tipos de revestimientos

(1) Todos los canales deben ser revestidos y de preferencia recubiertos y enlucidos con cemento.

(2) Los canales pueden ser construidos con:

a) Hormigón simple.
b) Hormigón con cascote de ladrillo.
c) Hormigón ciclópeo.
d) Prefabricados de hormigón simple.
e) Ladrillo con hormigón simple.
f) Mampostería de piedra.
g) Hormigón armado.
h) Hormigón inyectado.
i) Tierra - cemento.

(3) El revestimiento debe ser de material inerte y estar adecuadamente construido para evitar su erosión.

Tabla 1. Tipos y formas de canales

Tipo	Forma
Cerrado (no a presión)	Circulares Elípticas Herradura Otros formas geométricas
Abierto	Trapezoidales Rectangulares Triangulares Semicirculares

(2) La definición del tipo y forma del canal depende de las condiciones técnicas.

3.3.3 Caudal de diseño

(1) El caudal de diseño debe ser establecido según lo especificado en 2.4 del **Capítulo 2.**

3.3.4 Velocidades de diseño

(1) Las velocidades máximas y mínimas en los canales dependen del caudal de escurrimiento, tipo de revestimiento y radio hidráulico. Así mismo, del peligro de erosión que puedan sufrir y la deposición de sedimentos que obstruyan la sección transversal de los mismos.

(2) En la **Tabla 2** se presentan los valores referenciales de velocidades máximas permisibles en canales con revestimiento, para evitar la erosión de la solera y paredes laterales.

(3) Para cumplir con los requerimientos de velocidad máxima y si las condiciones locales lo exigieran, la aducción a superficie libre debe ser diseñada en forma escalonada.

(4) El escalonamiento debe ser obtenido por medio de estructuras que proporcionen caídas verticales o caídas inclinadas.

(5) En una caída vertical el cambio de cota de agua se debe realizar en caída libre.

(6) En una caída de fuerte pendiente (rápida) el agua debe pasar de un régimen fluvial a un régimen torrencial a lo largo del canal inclinado constituido por un material capaz de resistir en forma adecuada las velocidades que se presentan para permitir la concordancia entre los tramos superior e inferior.

(7) Al final de la caída vertical o inclinada debe existir una cámara capaz de absorber la energía cinética que el agua presenta al llegar a ese punto.

(8) La velocidad mínima debe ser de 0,60 m/s, en lo posible se debe mantener un flujo subcrítico, es decir F < 1 (F = N° de Froude), sin embargo, las velocidades pueden ser menores si el ingeniero proyectista justifica técnicamente en función de la tensión tractiva mínima necesaria a partir del cual se genera la autolimpieza del canal.

Tabla 2. Velocidad máxima en canales revestidos (m/s)

Tipo de revestimiento	Características del material	Profundidad de escurrimiento (m)	
		05	05
Revestimiento de hormigón (agua libre de arenas y piedras)	Hormigón H10 (1) Hormigón H15 (1) Hormigón H20 (1) Hormigón H30 (1)	12,50 14,00 15,60 19,20	13,80 15,60 17,30 21,20
Revestimiento de piedra (agua libre de arena y piedras)	Hormigón H5-H15 (1) Hormigón H25 (1) Hormigón H10 (1)	7,40 6,30 4,30	3,70 7,40 5,00
Gaviones 0,50 m y mayor	- - -	4,70	5,50
Piedras grandes	- - -	3,00	3,50
Capas de piedra o arcilla (10 a 15 cm)	- - -	2,40	2,80
Suelo apisonado con piedra	Piedra de 15 - 20 cm Piedra de 20 - 30 cm	2,60 3,00	3,00 3,60
Capa doble de piedra	Piedra de 15 - 20 cm Piedra de 20 - 30 cm	3,00 3,10	3,50 3,70

Fuente: H. Llanusa y C. Viamonte.

(1)Tipo de Hormigón de acuerdo al Código Boliviano del Hormigón (CBH 1987).

3.3.5 Pendiente máxima y mínima

(1) La pendiente máxima permisible en una aducción en conducto libre debe ser aquella para la cual la velocidad del agua no sea superior a lo establecido en la **Tabla 2.**

(2) Asimismo, la pendiente mínima debe ser aquella a la cual la velocidad mínima permita arrastrar una partícula sedimentable.

3.3.5.1 Tensión tangencial crítica de arrastre

(1) Es la tensión que debe ser capaz de provocar el inicio del movimiento del material.

a) Para suelos pulvurulentos gruesos de diámetro d > 2,5 mm.

i) En el fondo: $\tau_0 = 0{,}80 * d_{75}$

Donde:
- τ_0 Tensión tangencial en kgf/m^2
- d_{75} Diámetro para el cual, en la curva de composición granulométrica, corresponde el 75% en peso del diámetro inferior, en cm

ii) En los lados: $\tau'_0 = K * t_0$

$$K = \cos\theta * \left[\frac{(1 - tg_2\,\psi)}{(1 - tg_2\,\theta)}\right]^{1/2}$$

Donde:
- τ'_0 Tensión tangencial en kgf/m^2
- θ Angulo que forma el lado de la sección con la horizontal
- ψ Angulo de reposo

b)Para suelos pulverulentos finos de diámetro d_{50} < 5,00 mm.

i) Los valores de la tensión tangencial crítica se encuentran tabulados en la **Tabla 3.**

Tabla 3. Tensión tangencial τ_0 (kgf/m^2) para materiales finos no cohesivos

Diámetro medio d_{50} (mm)	0,10	0,20	0,50	1,00	2,00	5,00
Agua clara	0,012	0,013	0,015	0,020	0,029	0,068
Agua cruda con sedimentos finos en pequeña cantidad	0,024	0,025	0,027	0,029	0,039	0,081
Agua con sedimentos finos en gran cantidad	0,038	0,038	0,041	0,039	0,054	0,090

c) Para suelos cohesivos

i) Los valores de la tensión tangencial crítica se encuentran tabulados en la **Tabla 4.**

Tabla 4. Tensión tangencial τ_0 (kgf/m^2) para materiales cohesivos

Material cohesivo del lecho	Naturaleza del lecho			
	Muy poco compactado con relación de vacíos de 1,20 a 2,00	Poco compactado con relación de vacíos de 1,20 a 1,60	Compactado con relación de vacíos de 0,30 a 0,60	Muy Compactado con relación de vacíos de 0,20 a 0,30
Arcillas arenosas (% de arena inferior a 50%)	0,020	0,077	0,160	0,308
Suelos con grandes cantidades de arcilla	0,015	0,069	0,149	0,275
Arcillas	0,012	0,061	0,137	0,259
Arcillas muy finas	0,010	0,047	0,104	0,173

d) Los valores de τ_0 deben ser multiplicados por 0,90 si la aducción presenta pocas curvas (terreno ligeramente accidentado); por 0,75 si la aducción presenta un número reducido de curvas (terreno medianamente accidentado); y por 0,60 si la aducción presenta muchas curvas (terreno muy accidentado).

3.3.6 Diámetro mínimo

(1) Para canales se sección circular (no presión) a superficie libre el diámetro mínimo a utilizarse debe ser de 100 mm.

3.3.7 Cálculo hidráulico y pérdidas de carga

(1) La cantidad de agua que debe transportar un canal está en función de la velocidad y el área de escurrimiento, de acuerdo a la ecuación de continuidad.

$$Q = v * A$$

Donde:
- Q Caudal en m^3/s
- v Velocidad de escurrimiento de agua en m/s
- A Sección de escurrimiento en m^2

(2) La sección debe ser calculada mediante fórmulas geométricas dependiendo del tipo de sección que se adopte.

(3) La velocidad puede ser calculada por una de las siguientes fórmulas:

a) Fórmula de Manning-Strickler:

$$v=\frac{1}{n} * R^{2/3} * I^{1/2}$$

b) Fórmula de Bazin:

$$v = \frac{87 * R * I^{1/2}}{\gamma + R^{1/2}}$$

c) Fórmula de Kutter:

$$v = \frac{23 + \left(\frac{0{,}00155}{I} + \frac{1}{n}\right) * \left(R^{1/2} * I^{1/2}\right)}{\left[1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{I}\right) * \frac{n}{R^{1/2}}\right]}$$

Donde:
- v Velocidad del agua en m/s
- R Radio hidráulico en m

$$R = \frac{A}{P_H}$$

- A sección de escurrimiento en m^2
- P_H Perímetro mojado de agua en m
- I Pendiente del canal en el tramo en m/m
- n Coeficiente de rugosidad de Manning (ver **Tabla 5**)
- g Coeficiente de rugosidad de Bazin (ver **Tabla 6**)

(4) Cuando el trazado en planta de la aducción esté constituido por tramos curvos con un radio de su eje inferior a 20 veces del radio hidráulico, debe dimensionarse el conducto considerando la pérdida de carga que la curva pueda ocasionar.

(5) Cuando el coeficiente de rugosidad no es constante en una sección, debe emplearse la fórmula de Strickler con un coeficiente de rugosidad compuesto.

(6) En los cambios de sección no deben ser permitidos perfiles de agua irregulares, con puntos angulares que produzcan perturbaciones, también deben ser evitados regímenes que se aproximan al crítico para evitar que se produzcan resaltos que perturben el escurrimiento.

Tabla 5. Valores del coeficiente de rugosidad de Manning y Kutter para superficies de canales

Material de las paredes	Valores de n
Albañilería de piedra bruta	0,020
Albañilería de piedra labrada	0,017
Albañilería de ladrillo sin revestimiento	0,015
Canales de hormigón acabado ordinario	0,014
Canales de hormigón revestimiento liso	0,012
Canales con revestimiento muy liso	0,010
Canales de tierra en buenas condiciones	0,025
Canales irregulares mal conservados	0,040
Conductos de madera cepillada	0,011
Losetas cerámicas	0,013
Tubos de acero soldado	0,011
Tubos de hormigón	0,013
Tubos de hierro fundido	0,012
Tubos de asbesto cemento	0,011
Tubos de ladrillo bien construido	0,013
Arcilla vitrificada o ladrillo corriente	0,015
Zanjas y ríos con algunas piedras y hierbas	0,030
Zanjas y ríos con fondos rugosos y mucha vegetación	0,040

Tabla 6. Valores del coeficiente de Bazin

Material de las paredes	Características de conservación y acabado			
	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo
Losetas cerámicas	0,06	0,22	0,33	0,50
Drenes de barro	0,11	0,17	0,28	0,50
Albañilería de ladrillos y cemento	0,14	0,22	0,33	0,50
Superficies lisas de cemento	0,00	0,06	0,14	0,22
Superficies revestidas con cemento	0,06	0,11	0,22	0,33
Tubos de concreto	0,14	0,22	0,33	0,41
Cajas de madera cepilladas	0,00	0,14	0,22	0,28
Cajas de madera no cepilladas	0,06	0,22	0,28	0,33
Canales revestidos con concreto	0,14	0,28	0,41	1,55
Albañilería de piedra cortada	0,50	0,69	1,05	1,38
Albañilería de piedra bruta	1,05	1,38	1,60	1,75
Albañilería de piedra labrada	0,22	0,28	0,36	0,50
Conductos metálicos lisos	0,06	0,14	0,22	0,33
Conductos de metal corrugado	0,88	1,05	1,21	1,38
Canales de tierra	0,50	0,69	0,88	1,05
Canales de tierra con vegetación y roca	1,05	1,38	1,75	2,10
Canales excavados en roca	1,38	1,75	2,04	2,32
Cursos naturales de agua en buenas condiciones	1,05	1,38	1,75	2,10
Cursos naturales de agua con vegetación, rocas, etc.	1,75	2,42	3,48	4,85

(7) El dimensionamiento del perfil longitudinal de una aducción a superficie libre debe ser realizado para el caso de escurrimiento gradualmente variado de acuerdo a los siguientes criterios:

a) Cuando durante la operación de la aducción se hace variar el nivel de agua, a fin de obtener una cierta capacidad, suficiente para atender una demanda instantánea (caso de Bombeo) las curvas de remanso deben ser calculadas por el siguiente método aproximado:

$$s_2 - s_1 = \left(\frac{h_0}{I}\right)\left[\phi(\eta_2) - \phi(\eta_1)\right]$$

Donde:
- $s_2 - s_1$ Distancia entre las secciones 1 y 2
- h_0 Profundidad normal en m
- η Relación entre la profundidad de agua h y h_0 (esto es $h = h/h_0$)
- $\phi(\eta)$ Se determina de la **Tabla B.1** del **Anexo B**

i) Esta ecuación es válida en el caso que la pendiente "I" del lecho es inferior a un décimo de la pendiente crítica I_c

b) Cuando la condición exigida en "a" no ocurre, las líneas de remanso deben ser obtenidas por el método de las diferencias finitas o por otro método presentado en el **Anexo B**.

3.3.8 Transiciones

(1) Cuando una aducción a superficie libre presenta tramos ligados por sifones de sección circular, la concordancia entre los mismos se hará por medio de una transición.

3.3.9 Obras y dispositivos complementarios

3.3.9.1 Disipadores de velocidad

(1) Si por las características topográficas es necesario controlar la velocidad máxima de escurrimiento, debe preverse de obras que disminuyan la energía cinética del agua, mediante:

a) Escalonamiento de la base del canal.
b) Planos inclinados con disipadores de energía.
c) Cámaras de caída libre.

3.3.9.2 Dispositivos de derivación

(1) Cuando en un conducto libre existe una derivación también en conducto libre, en el punto de derivación debe disponerse elementos capaces de regular el caudal en cualquiera de los dos conductos a partir de dicho punto, más no en ambos simultáneamente.

(2) En puntos escogidos a lo largo de la aducción debe preverse dispositivos derivadores de agua o vertederos con las siguientes finalidades:

a) Dar salida al exceso de agua en caso de maniobras inconvenientes del dispositivo regulador de caudales.
b) Dar salida a las aguas cuando no hay el consumo esperado.
c) Permitir el aislamiento y vaciado de tramos de la aducción para fines de mantenimiento.

(3) El agua de los dispositivos de derivación debe ser captada y conducida a lugares apropiados a través de canales de descarga, proyectados convenientemente de manera que quede asegurada la total estabilidad de la aducción con relación al poder erosivo de las aguas.

(4) Los canales abiertos o con abertura discontinua deben ser protegidos de escurrimientos superficiales, mediante bordes situados por encima del nivel del terreno adyacente. En cualquier caso las aguas indicadas deben ser convenientemente encaminadas, no pudiendo la aducción convertirse en un obstáculo para su paso.

(5) Cuando el conducto libre fuera constituido por un canal abierto en terreno natural, este debe ser impermeable o debe ser impermeabilizado.

(6) Los conductos libres que conduzcan agua tratada deben ser totalmente cerrados y tener paredes impermeables.

3.3.9.3 Cruces de depresiones y elevaciones topográficas

(1) En casos de cruces sobre quebradas, ríos o depresiones naturales de terreno, se podrán utilizar acueductos elevados abiertos o cerrados que permitan la continuidad de flujo del agua. En caso de cruces de grandes luces es conveniente el empleo de tuberías en puente colgante.

(2) Para salvar elevaciones topográficas como lomas, cerros y otros, se construirán túneles. La forma de los túneles y su diseño debe ser realizado con las fórmulas anteriormente señaladas, tomado en cuenta el efecto de las fuerzas tangenciales sobre las paredes del acueducto.

(3) Para el cruce de carreteras se debe prever el cambio de canal a tubería y la profundidad de paso. La tubería a emplearse se calculará para el caudal de agua del canal y la resistencia al paso de vehículos.

3.4 CONDUCTOS A PRESIÓN

(1) Están constituidos generalmente por tuberías que trabajan a una presión superior a la presión atmosférica. La tubería conduce el agua a sección llena.

3.5 DISEÑO DE CONDUCTOS A PRESIÓN

(1) Para el diseño deben considerarse los siguientes elementos:

a) Trazado de la aducción.
b) Caudal de diseño.
c) Determinación de cotas.
d) Material y clase de tubería.
e) Velocidad.
f) Diámetros mínimos.
g) Pendientes.
h) Cálculo hidráulico y pérdidas de carga.
i) Presiones máximas y mínimas.
j) Tuberías de aducción y accesorios.
k) Profundidad de instalación.
l) Cámaras y dispositivos de ingreso y salida.

3.5.1 Trazado de la aducción

(1) Para el trazado de la aducción se deben considerar los aspectos señalados en 2.6 del **Capítulo 2.**

3.5.2 Caudal de diseño

(1) El caudal de diseño debe ser establecido según lo especificado en 2.4 del **Capítulo 2.**

3.5.3 Determinación de cotas

(1) Se deben determinar las cotas del terreno de los siguientes puntos:

a) Obra de toma.
b) Pasos de los accidentes topográficos sobre la línea del trazado.
c) Cambios bruscos de sentido y pendiente.
d) Tanque de almacenamiento o planta de tratamiento.
e) Otros puntos relevantes del terreno que determinen el trazado de la tubería.

(2) La diferencia de elevación entre el punto de ingreso de agua y cualquier punto tubería abajo, determinará la presión estática interna en la tubería.

(3) La presión estática entre puntos extremos de la tubería de aducción, determinará el material y las características mecánicas de trabajo de la tubería y la necesidad de colocar válvulas o cámaras rompe presión.

3.5.4 Material y clase de tubería

(1) La elección del material debe ser efectuada con base en:

a) Las características topográficas.
b) Calidad del agua.
c) Tipo de suelo.

d) Resistencia a la corrosión y agresividad del suelo.
e) Resistencia a esfuerzos mecánicos producidos por cargas externas e internas.
f) Características de comportamiento hidráulico (velocidades, presiones, golpe de ariete).
g) Vida útil del proyecto.
h) Costos de operación y mantenimiento.
i) Análisis económico.

(2) Los materiales deben ser elegidos en función de la presión nominal y de trabajo, la cual debe ser proporcionada por el fabricante. El material utilizado debe contar con una certificación de calidad, o en su caso, cuando las certificaciones provengan de otros países, ésta debe ser homologada por el IBNORCA.

(3) Un sistema de aducción puede estar constituido por tramos de diferentes materiales elegidos de acuerdo a su funcionamiento, operación y mantenimiento, condiciones de implementación en el terreno y esfuerzos actuantes.

(4) En los puntos de transición entre tramos de diferentes materiales, deben disponerse elementos especiales destinados a la unión de los tramos, impidiendo pérdidas de agua o generación de esfuerzos o de cualquier fenómeno capaz de perjudicar la aducción.

(5) Para la selección del material de las tuberías empleadas en sistemas de agua potable deben considerarse las ventajas y desventajas especificadas en el Reglamento Técnico de Válvulas, Tuberías y Accesorios para Sistemas de Agua Potable y las especificaciones de la Norma Boliviana correspondiente a Tuberías.

(5) El material de las tuberías debe ser seleccionado de acuerdo a las características que satisfagan las necesidades del proyecto, considerando principalmente los costos iniciales y de mantenimiento así como la seguridad de la tubería.

3.5.5 Velocidades de diseño

(1) La velocidad máxima debe ser considerada en función del tipo de material de la tubería, de acuerdo a la **Tabla 7.**

Tabla 7. Velocidades máximas permisibles en tuberías

Material	Velicidad (m/s)
Tubería revestida de hormigón simple	3,00
Tubería de hormigón centrifugado	3,50
Tubería de asbesto cemento	5,00
Tubería de PVC	5,00
Tubería de hierro fundido	5,00
Tubería acero galvanizado	5,00
Tubería de acero	5,00

(2) En tuberías de impulsión la velocidad no debe ser mayor a 2,00 m/s.

(3) A objeto de mitigar los efectos por golpe de ariete, y en general cuando éste sea inminente, se recomienda que la velocidad máxima no debe superar a 1,50 m/s.

(4) La velocidad mínima en la tubería debe ser establecida en función de la velocidad de autolimpieza. La velocidad mínima recomendada es de 0,30 m/s.

3.5.6 Diámetros mínimos

(1) Para la selección del diámetro de la tubería de aducción deben analizarse las presiones disponibles, las velocidades de escurrimiento y las longitudes de la línea de aducción.

(2) La elección debe estar basada en un estudio comparativo técnico económico mediante las técnicas de optimización que tornen mínima la función costo anual.

3.5.7 Pendientes

(1) Con el objeto de permitir la acumulación del aire en los puntos altos y su eliminación por las válvulas colocadas para tal efecto y facilitar el arrastre de sedimentos hacia los puntos bajos para el desagüe de las tuberías, éstas no deben colocarse en forma horizontal.

(2) Las pendientes mínimas deben ser:

a) i = 0,04%, cuando el aire circula en el sentido de escurrimiento del agua
b) i = 0,10% a 0,15%, cuando el aire circula en el sentido contrario al escurrimiento del agua

(3) En este último caso la pendiente no debe ser menor que la pendiente de la línea piezométrica de ese tramo.

(4) Cuando se considere necesario uniformar pendientes a costa de mayor excavación a efectos de evitar un gran número de válvulas de aire y cámaras de limpieza, debe realizarse una comparación económica de ambas variantes.

3.5.8 Cálculo hidráulico y pérdidas de carga

(1) Se debe efectuar el estudio hidráulico del escurrimiento para determinar si las tuberías trabajan a presión, lo que dependerá de las características topográficas de la zona y del diámetro del conducto. No se admiten presiones negativas.

(2) Para el cálculo hidráulico y la determinación de pérdidas de carga en tuberías a presión se pueden utilizar las siguientes fórmulas:

a) Flamant
b) Darcy Weisbach
c) Hazen Williams

(3) En el cálculo hidráulico se utiliza el diámetro real. Sin embargo, para efectos del diseño se debe considerar el diámetro nominal de la tubería.

(4) Asimismo, en el cálculo de tuberías deben considerarse las pérdidas localizadas o el efecto de mecanismos y singularidades (válvulas, codos, tees, reducciones, etc.) introducidas en la línea que producen pérdidas de carga adicionales.

(5) Para el cálculo de dichas pérdidas de carga localizadas debe utilizarse el método de la longitud equivalente de tuberías, añadiendola, a la longitud real del tramo.

(6) El proyectista puede dejar de considerar el cálculo de pérdidas localizadas si los sistemas son por gravedad.

3.5.8.1 Fórmula de Flamant

(1) Se expresa por la ecuación:

$$S_t = \frac{4 * b * v^{7/2}}{D^{3/2}}$$

Donde:
- S_t Pérdida de carga unitaria en m/m
- b Coeficiente de Flamant (ver **Tabla 8**)
- v Velocidad del agua en m/s
- D Diámetro interno de la tubería en m

Tabla 8. Coeficiente b de Flamant

Material de la tubería	b
Hierro o acero	0,00023
Nuevos metálicos	0,000185
Concreto	0,000185
PVC	0,00140(1)

Fuente: Manual de Hidráulica, Azevedo Netto

(1) Asumido

3.5.8.2 Fórmula de Darcy-Weisbach.

(1) El cálculo de la perdida de carga distribuida o continua en una tubería o conducto cilíndrico largo se debe efectuar mediante la siguiente fórmula:

$$h_f = \frac{f * L * v^2}{D_H * 2 * g}$$

Donde:
- h_f Pérdida de carga distribuida o continua en m
- f Coeficiente de pérdida de carga distribuida
  Se obtiene del Diagrama de Moody
  (véase **Figura A.2** de **Anexo A**) o las siguientes fórmulas:

  a) Escurrimiento laminar (R < 2000): $f = \frac{64}{R}$

b) Zona crítica (2000 < R < 4000), fórmula de Prandlt-von Karman:

$$\frac{1}{f^{1/2}} = 2 * \log R * f^{1/2} - 0.80$$

c) Escurrimiento turbulento (R > 5000),
i) fórmula de Colebrook-White

$$\frac{1}{f^{1/2}} = 2 * \log\left(\frac{k}{3,70 * D_H} + \frac{2,51}{R * f^{1/2}}\right)$$

ii) fórmula de Swamme - Jain

$$f = \frac{0,25}{\left[\log\left(\frac{k}{3,71} + \frac{5,74}{R}\right)\right]^2}$$

f Coeficiente de fricción (adimensional)
R Número de Reynolds

$$R = \frac{v * D}{\nu}$$

ν Viscosidad cinemática del agua en cm^2/s

k Rugosidad uniforme equivalente o coeficiente de Colebrook, depende del tipo de material (ver **Tabla 9**)
$k = \varepsilon/D$
ε Rugosidad en mm
D Diámetro interno de la tubería en m
L Longitud de la tubería en m
v Velocidad media en la sección en m/s
D_H Diámetro hidráulico en m
g Aceleración de la Gravedad en m/s^2

(2) La **Tabla 9**, presenta la rugosidad uniforme equivalente, teniendo en cuenta su relación y dependencia con los siguientes factores: material y proceso de fabricación de la tubería, naturaleza del líquido que escurre por la tubería y tiempo de servicio de la tubería.

Tabla 9. Valores el coeficiente k de Colebrook

Material	k (mm)
Acero galvanizado	0,13
Acero soldado c/revestimiento	0,05
Asbesto cemento	0,10
Hierro fundido nuevo	1
Hierro fundido usado (15 a 20 años)	1 – 5
Hierro fundido dúctil c/revestimiento de cemento	0,50
Plástico PVC o Polietileno PEAD	0,01

(3) La perdida de carga en tuberías a presión que presenten salientes en las juntas de las tuberías, a lo largo del perímetro de la sección, debe ser igual a la suma de la perdida de carga distribuida, calculada como si las juntas indicadas no existiesen y la perdida de carga debido a la presencia de la junta, dada por:

$$h_s = n_j * k_s * \left(\frac{v_0^{1/2}}{2 * g}\right)$$

Donde:
- h_s Pérdida de carga debida a las juntas en m
- n_j Número de juntas
- k_s Coeficiente de pérdida de carga, dado por:
  - a) Para : $\frac{L_j}{D_0} > 30$: $k_s = k_1$
  - b) Para : $\frac{L_j}{D_0} < 30$: $k_s = k_0 * k_1$
- L_j Distancia de una junta a otra en m
- D_0 Diámetro interno de la tubería en m
- k_s, k_1 Coeficientes que se obtienen de la **Tabla 10** y **Tabla 11**, respectivamente
- v_0 Velocidad en m/s
- g Aceleración de la gravedad en m/s^2

Tabla 10. Coeficiente k_0

L_j/D_0	4	8	12	16	20	24	30
k_0	0,30	0,45	0,58	0,68	0,78	0,87	1,00

Tabla 11. Coeficiente k_1

L_j/D_0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
K_1	0,15	0,35	0,06	0,09	0,13	0,17	0,21	0,26	0,32	0,38

(4) Las pérdidas de carga introducidas por las juntas tipo espiga campana y uniones con anillo de goma o similares deben ser consideradas como despreciables ya que no presentan salientes al interior del tubo.

(5) El coeficiente de viscosidad cinemática del agua debe ser considerado solamente en función de la temperatura de agua al interior de la tubería y para efecto del cálculo del número de Reynolds. Los valores del coeficiente de viscosidad en función de la temperatura se presentan en la **Tabla 12**.

Tabla 12. Viscosidad cinemática del agua

Temperatura (°C)	Peso específico (N/m^3)	Viscosidad cinemática x10^6 (m^2/s)
0	9.806	1.792
5	9.807	1.519
10	9.808	1.308
15	9.798	1.141
20	9.789	1.007
25	9.778	0.897
30	9.764	0.804
35	9.764	0.727
40	9.730	0.661
45	9.711	0.605
50	9.690	0.556
55	9.666	0.513
60	9.642	0.477
65	9.616	0.444
70	9.589	0.415
75	9.560	0.39
80	9.530	0.367
85	9.499	0.347
90	9.466	0.328
95	9.433	0.311
100	9.399	0.296

(6) El envejecimiento de tuberías de hormigón armado, aislados interiormente y de material plástico, pueden considerarse despreciables para el proyecto de aducciones.

(7) En tunerías metálicas, cuando no fuera posible la limpieza periódica y si no fueran pintados interiormente con materiales anticorrosivos, el caudal de diseño para fin de proyecto debe ser multiplicado por un coeficiente de seguridad obtenido del **Anexo C**.

3.5.8.3 Fórmula de Hazen Williams

(1) Es la más empleada por su simplicidad y grado de exactitud, se expresa como:

$$Q = 0{,}28 * C * D^{2{,}63} * J^{0{,}54}$$

Donde:
- Q — Caudal en m^3/s
- C — Coeficiente de Hazen Williams (adimensional)
- D — Diámetro interno de la tubería en m
- J — Pérdida de carga unitaria o gradiente hidráulico en m/m $J = h_f / L$
- h_f — Pérdida de carga en m
- L — Longitud de la tubería en m

(2) El coeficiente C es función del material y la antigüedad de la tubería. En la **Tabla 13** se presentan los valores mas empleados.

Tabla 13. Valores del coeficiente C de Hazen-Williams

Material	C
Acero galvanizado	125
Acero soldado c/revestimiento	130
Asbesto cemento	120
Hierro fundido nuevo	100
Hierro fundido usado (15 a 20 años)	60 – 100
Hierro fundido dúctil c/revestimiento de cemento	120
Plástico PVC o Polietileno PE	140

Fuente: Manual de Hidráulica, Azevedo Netto.

3.5.8.4 Pérdida de carga localizada

(1) La pérdida de carga localizada producida por accesorio y válvulas instaladas en la tubería a presión debe ser considerada a través de la longitud equivalente, que es, la pérdida de carga producida por una longitud equivalente de tubería rectilínea.

(2) Las pérdidas de carga localizadas de cada accesorio o válvula tiene su longitud equivalente respectiva que depende del material, forma y diámetro. En la **Tabla 14** se presenta las longitudes equivalentes en función del diámetro.

Tabla 14. Pérdidas localizadas en longitudes equivalentes (En metros de tubería recta)

Elemento	1/2	3/4	1	1 1/4	11/2	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10	12	14
Codo 90°															
Radio largo	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	2.1	2.7	3.4	4.3	5.5	6.1	7.3
Radio medio	0.4	0.6	0.7	0.9	1.1	1.4	1.7	2.1	2.8	3.7	4.3	5.5	6.7	7.9	9.5
Radio corto	0.5	0.7	0.8	1.1	1.3	1.7	2.0	2.5	3.4	4.5	4.9	6.4	7.9	9.5	10.5
Codo 45°	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.2	1.5	1.9	2.3	3.0	3.8	4.6	5.3
Curva 90°															
R/D: 1 _	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	1.9	2.4	3.0	3.6	4.4
R/D: 1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.3	1.6	2.1	2.5	3.3	4.1	4.8	5.4
Curva 45°	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.5	1.8	2.2	2.5
Entrada															
Normal	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.6	2.0	2.5	3.5	4.5	5.5	6.2
De borda	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.5	1.9	2.2	3.2	4.0	5.0	6.0	7.5	9.0	11.0
Válvula															
Compuerta	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4	1.7	2.1	2.4
Globo	4.9	6.7	8.2	11.3	13.4	17.4	21.0	26.0	34.0	45.3	51.0	67.0	85.0	102.0	120.0
Angulo	2.6	3.6	4.6	5.6	6.7	8.5	10.0	13.0	17.0	21.0	26.0	34.0	43.0	51.0	60.0
De píe	3.6	5.6	7.3	10.0	11.6	14.0	17.0	20.0	23.0	31.0	39.0	52.0	65.0	78.0	90.0
Retención															
T. liviano	1.1	1.6	2.1	2.7	3.2	4.2	5.2	6.3	6.4	10.4	12.5	16.0	20.0	24.0	38.0
T. pesado	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4	8.1	9.7	12.9	16.1	19.3	25.0	32.0	38.0	45.0
Tee de paso															
Directo	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	2.1	2.7	3.4	4.3	5.5	6.1	7.3
Latera	1.0	1.4	1.7	2.3	2.8	3.5	4.3	5.2	6.7	8.4	10.0	13.0	16.0	19.0	22.0
Tee salida															
Bilateral	1.0	1.4	1.7	2.3	2.8	3.5	4.3	5.2	6.7	8.4	10.0	13.0	16.0	19.0	22.0
Salida de tubería	0.40	0.5	0.7	0.9	1.0	1.5	1.9	2.2	3.2	4.0	5.0	6.0	7.5	9.0	11.0

Fuente: Diseño de acueductos y alcantarillados, Ricardo Alfredo López Cualla (2da. Edición)

3.5.9 Presiones máximas y mínimas

(1) La presión estática máxima de la tubería de aducción no debe ser mayor al 80% de la presión de trabajo especificada por el fabricante, debiendo ser compatibles con las presiones de servicio de los accesorios y válvulas a utilizarse.

(2) Para casos en los que se tiene altas presiones se debe efectuar un análisis comparativo técnico económico entre adoptar el uso de tuberías de alta presión o utilizar estaciones reductoras de presión y tuberías de menor presión. Para el último caso debe verificarse que la presión en el punto más alejado y elevado sea al menos la mínima especificada en el presente reglamento.

(3) La presión mínima recomendable en cualquier punto de la tubería de aducción, en las condiciones mas desfavorables de escurrimiento, debe ser de 2 m.c.a., excepto en los puntos inicial y final de la aducción ligados a un tanque o cámara en contacto con la atmósfera.

(4) En los puntos en los cuales se produzca sifonamiento, deberá colocarse purgas de aire.

3.5.10 Tuberías de aducción y accesorios

(1) El tipo de tuberías, de juntas, de materiales y de apoyos debe ser comprobadamente adecuado a la forma de instalación, garantizando la estanqueidad del conducto y su estabilidad y debe ser protegida contra impactos

(2) Las aducciones formadas por segmentos rectos, podrán ser dispuestas en curva, si es necesario, mediante la deflexión de las tuberías en sus juntas, si las mismas son de tipo flexible.

(3) La deflexión cada junta a excepción de las juntas con características especiales, es función del diámetro y no debe ser mayor a lo especificado en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Deflexión máxima en tuberías

Diámetro de la tubería (mm)	Deflexiones (grados – minutos)
100	3° 0’
150	3° 0’
200	3° 0’
250	3° 0’
300	3° 0’
400	2° 40’
450	2° 25’
500	2° 10’
600	1° 45’
750	1° 25’
900	1° 10’
1000	1° 5’

(4) Los accesorios (uniones, codos, tés, reducciones, válvulas, anclajes, etc.), elementos importantes complementarios a la instalación de tuberías, deben ser compatibles entre sí, en lo que se refiere a presiones de trabajo, dimensiones (diámetros, espesores, sistemas de unión) y estabilidad electroquímica si se trata de materiales diferentes.

3.5.11 Profundidad de instalación

(1) La profundidad mínima para el tendido de la tubería de aducción debe ser mayor o igual a 0,60 m sobre la clave de la misma.

(2) En áreas de cultivo, cruce de caminos, líneas de ferrocarril o aeropuertos, la profundidad mínima debe ser de 1,00 m sobre la clave de la tubería. El proyectista debe justificar el uso de valores menores al indicado si éstos cuentan con un sistema de protección.

(3) En el caso de suelos rocosos e inestables, el proyectista debe tomar medidas de protección necesarias como revestimientos de hormigón simple y anclajes.

(4) En zonas con pendiente fuerte se deben adoptar tendidos superficiales siempre y cuando se tenga en cuenta apoyos y anclajes antideslizables.

(5) En el caso de tuberías de PVC y PEAD deben necesariamente estar enterrados.

(6) Cuando por la naturaleza del terreno, es necesario colocar la tubería muy próxima a la superficie, deben preverse los elementos de protección que aseguren que la misma no será sometida a esfuerzos o deformaciones que puedan provocar roturas o afectar su funcionamiento normal.

(7) En el caso de tuberías sujetas a submergencia temporaria debe tenerse en cuenta que podrá ocurrir un levantamiento máximo debido a la subpresión, estando la tubería vacía. En este caso debe preverse la colocación de protecciones si las características de la napa freática presentasen condiciones de agresividad.

(8) Debe verificarse que la línea piezométrica de la aducción mediante tubería a presión quede ubicada en las condiciones más desfavorables de escurrimiento previsto por lo menos 2,00 m por encima de la generatriz superior de la tubería y por lo menos 1,00 m por encima de la superficie del terreno.

(9) La anterior condición no debe ser aplicada en los tramos inicial y final de un conducto ligado a un reservorio o cámara en contacto con la atmósfera.

3.5.12 Cámaras y dispositivos de ingreso y salida

(1) Si una tubería a presión se origina en un canal o conducción a superficie libre, debe diseñarse un dispositivo de transición y deben cumplirse los requerimientos del Reglamento Técnico de Diseño de Tanques de Almacenamiento para Sistemas de Agua Potable.

(2) Si se trata de una cámara de entrada, se debe garantizar el ingreso a la tubería a sección llena para evitar el ingreso de aire.

(3) En el perfil longitudinal de entrada, el borde inferior de la boca de ingreso a la tubería debe estar ubicado a una altura H, medida a partir de la superficie del agua del conducto de alimentación, de manera que:

$$H > \left(\frac{D}{\cos \alpha}\right) + 1{,}10 * \Delta h_v * \Delta h$$

Donde:
- H Altura en m
- D Diámetro de la tubería en m
- α Angulo que la generatriz de la tubería o sifón forma con la horizontal
- Δh_v Diferencia de alturas cinéticas en las secciones de entrada y salida del tramo de transición en m
- Δh Sobrecarga de agua que no debe ser menor a 0,50 m

  o menor a $1.50 * \frac{v^2}{2 * g}$

  ni menor a D (diámetro de la tubería de aducción
- v Velocidad media en la tubería o sifón en m/s

(4) Si el conducto de alimentación fuese descubierto, debe disponerse antes de la entrada a la tubería a presión una rejilla de barras paralelas, con una abertura igual o inferior a 0,10 m.

(5) Si el agua a conducir contiene sólidos en suspensión, debe preverse una rejilla para su remoción, con un espaciamiento entre barras no mayor a la mitad del diámetro de dichos sólidos.

(6) A la salida de las tuberías a presión debe disponerse una válvula con las características adecuadas para permitir la regulación del caudal a los valores deseados.

(7) La válvula de regulación de caudal debe ser dimensionada de modo que no ocurran fenómenos de cavitación para toda la amplitud del caudal a ser regulado.

(8) Para la regulación del caudal y cierre del conducto debe utilizarse una única válvula siempre que cumpla el anterior requisito, además de eso después de haber sido operada para el cierre del conducto su abertura pueda ser realizada a una posición anterior sin necesidad de alivio de caudal.

(9) No se deben utilizar válvulas de compuerta para la regulación de caudales.

(10) Las aducciones con derivaciones para abastecer diferentes tanques de almacenamiento deben ser dimensionadas hidráulicamente para atender las condiciones de abastecimiento más desfavorables que se presenten. Además deben contar con:

a) Dispositivo para regulación de caudales en el extremo de salida de cada derivación.
b) Dispositivo para interrupción automática o comandada a través de operación centralizada, del abastecimiento al tanque de almacenamiento que alcance su máximo nivel de agua previsto.
c) Válvula de cierre de la alimentación a las derivaciones.

(11) Los dispositivos para interrupción automática del abastecimiento deben ser accionados directamente por flotador solamente cuando la presión máxima que pueda actuar sobre ellos, fuera igual o menor a la mitad de trabajo nominal.

3.6 GOLPE DE ARIETE

(1) El golpe de ariete en tuberías de aducción a presión por gravedad, se presenta cuando el flujo de agua se interrumpe bruscamente en la cota inferior de la tubería.

(2) La sobrepresión generada por el golpe de ariete sumada a la presión estática debe ser inferior a la capacidad nominal de trabajo de la tubería.

(3) En 4.4. del **Capitulo 4**, se detalla el cálculo respectivo.

CAPÍTULO 4
ADUCCIÓN POR BOMBEO

4.1 DEFINICIÓN

(1) Se denomina aducción por bombeo al conjunto de elementos estructurales, equipos dispositivos, tuberías y accesorio que permiten el transporte de un volumen determinado de agua mediante bombeo desde la obra de captación, hasta la planta de tratamiento tanque de almacenamiento o directamente a la red de distribución.

4.2 TIPOS DE BOMBEO

4.2.1 Bombeo en serie

(1) Es la acción de impulsar el agua con dos o más bombas instaladas sobre la misma línea de impulsión. Se debe aplicar en los siguientes casos:

a) Cuando sea necesario aumentar la altura de impulsión.
b) Cuando por las características de la fuente de energía eléctrica, se debe colocar dos bombas en serie en la misma línea de aducción (véase **Figura A.3** de **Anexo A**).

(2) Para el diseño de bombas en serie se debe considerar:

a) El caudal del sistema debe producir la misma descarga:

$$Q_{sistema} = Q_1 = Q_2 = ...= Q_n$$

b) La altura manométrica total es igual a la altura manométrica de cada bomba afectada por un coeficiente de rendimiento:

$$H_{sistema} = \beta\ (H_1 + H_2 + ...+ H_n)$$

Donde:	$Q_{sistema}$	Caudal del sistema en l/s
	Q_1, Q_2 , Q_n	Caudal de las bombas en l/s
	$H_{sistema}$	Altura manométrica total en m
	H_1, H_2 , H_n	Altura manométrica de cada bomba en m
	β	Coeficiente de rendimiento β = 0,90 a 0,95

c) Las bombas instaladas en serie deben ser idénticas.

4.2.2 Bombeo en paralelo

(1) Es la acción de impulsar el agua instalando más de una línea de impulsión con su respectiva bomba (véase **Figura A.4** de **Anexo A**).

(2) Se debe aplicar en los siguientes casos:

a) Por razones económicas, caudal o energía.

b) Por condiciones de seguridad.

(3) Para el diseño de las bombas en paralelo se debe considerar:

a) El caudal del sistema debe ser la suma de caudales de cada bomba.

$$Q_{sistema} = Q_1 + Q_2 + ...+ Q_n$$

b) La altura manométrica del sistema es igual a la altura manométrica de cada bomba.

$$H_{sistema} = H_1 = H_2 = ...= H_n$$

c) Pueden instalarse varias bombas trabajando en paralelo.

4.2.3 Bombeo por etapas

(1) Es la acción de impulsar el agua de un nivel inferior a otro superior en más de una etapa (véase **Figura A.5** de **Anexo A**).

(2) Las etapas deben ser los tramos o fracciones de la longitud total de impulsión que se encuentran definidas por cámaras de bombeo y/o tanques de regulación en sus extremos.

(3) Para el diseño de las bombas por etapas se debe considerar:

a) Características topográficas del lugar.

b) Capacidad de la fuente de energía.

c) Caudal de bombeo.

(4) En cada etapa, el bombeo podrá ser en serie o en paralelo, dependiendo de las consideraciones señaladas en 4.2.1 y 4.2.2.

(5) Debe realizarse un balance total de masas para garantizar que el tanque y/o cámaras de bombeo no queden vacíos en ningún momento. Para los proyectos de bombeo en etapas, es recomendable la automatización del sistema.

4.3 DISEÑO DE ADUCCIONES POR BOMBEO

4.3.1 Caudal de bombeo

(1) El caudal de bombeo, se debe determinar bajo los siguientes criterios:

a) Si el sistema tiene tanque de almacenamiento, el caudal de bombeo deberá estimarse en función del caudal máximo diario y el número de horas de bombeo.

b) Si el bombeo se realiza directamente a la red de distribución, el caudal de bombeo debe ser igual al caudal máximo horario.

(2) La determinación del caudal de bombeo, dependerá del rendimiento de la fuente y las limitaciones de energía.

(3) En forma general, el caudal de bombeo se debe estimar mediante la siguiente expresión:

$$Q_b = Q_{max.d} * \frac{24}{N}$$

Donde:	Q_b	Caudal de bombeo en l/s
	$Q_{max.d}$	Consumo máximo diario en l/s
	N	Número de horas de bombeo

4.3.2 Número de horas de bombeo

(1) El número de horas de bombeo y el número de operaciones (arranques) en un día, dependerá de los siguientes factores:

a) Rendimiento de la fuente.
b) Consumo de agua.
c) Limitaciones de energía.
d) Costo.

(2) Por razones económicas y operativas, se aconseja que el período de bombeo en un día debe ser menor a 12 horas, que podrán ser distribuidas en una o mas operaciones (arranques) de bombeo diarios.

(3) Deberán realizarse los cálculos necesarios para determinar las variaciones de consumo y volúmenes de bombeo para los 5, 10, 15, y 20 años del período de funcionamiento del proyecto.

4.3.3 Tubería de succión

(1) El empleo de la tubería de succión, solo se realizará cuando se utilicen bombas centrífugas y axiales con motores externos no sumergibles.

4.3.3.1 Diámetro de la tubería de succión

(1) Para el diseño deben considerarse los siguientes criterios:

a) El diámetro de la tubería de succión debe ser un diámetro comercial mayor que el diámetro de impulsión. Las bombas vienen diseñadas para el diámetro de succión recomendado.

b) La velocidad en la tubería de succión debe estar entre 0,60 m/s y 0,90 m/s.

c) El diámetro de la tubería de succión puede calcularse con la siguiente expresión:

$$d = 1{,}1284 * \sqrt{\frac{Q_b}{v}}$$

Donde:	d	Diámetro de la tubería de succión en m
	Q_b	Caudal de bombeo en m^3/s
	v	Velocidad media de succión en m/s

4.3.3.2 Altura de succión

(1) La altura de succión debe ser tal que evite el riesgo de cavitación en las bombas por presión de succión.

(2) Para determinar la altura de succión se debe considerar la Carga Neta Positiva de Succión (CNPS), que se especifica en el Reglamento Técnico de Estaciones de Bombeo para Sistemas de Agua Potable.

4.3.3.3 Sumergencia mínima

(1) Cuando se emplean bombas centrífugas de eje horizontal, la sumergencia mínima no debe ser menor que la establecida en el Reglamento Técnico de Estaciones de Bombeo para Sistemas de Agua Potable.

4.3.4 Diámetro de la tubería de impulsión

(1) Para el cálculo del diámetro económico en instalaciones que son operadas continuamente, debe emplearse la fórmula de Bresse:

$$D = k * \sqrt{Q_b}$$

Donde: D Diámetro económico en m
k Coeficiente
k = 1,00 a 4,40
Q_b Caudal de bombeo en m^3/s

(2) Para el cálculo del diámetro económico en instalaciones que no son operadas continuamente, debe emplearse la siguiente fórmula:

$$D = 1.30 * X^{1/4} * \sqrt{Q_b}$$

Donde: D Diámetro económico en m

$$X = \frac{\text{Nº de horas de bombeo}}{24}$$

Q_b Caudal de bombeo en m^3/s

(3) En el diseño y cálculo de tuberías de impulsión se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

a) El diámetro de la tubería de impulsión, para distancias largas, debe ser elegido sobre la base de una evaluación económica que compare diámetros, potencia del motor, consumo de energía y costos.

b) El diámetro de la tubería de impulsión, para distancias cortas, puede determinarse en base a la velocidad, que deberá estar entre un rango de 1,50 m/s a 2,0 m/s.

c) La tubería de impulsión no debe ser diseñada con cambios bruscos de dirección de flujo.

d) Deben instalarse los dispositivos necesarios para evitar el contraflujo del agua, cuando la bomba deja de trabajar o en caso de que exista falla eléctrica .

e) Debe considerarse el fenómeno de golpe de ariete y en consecuencia dotar al sistema de dispositivos que aseguren los riesgos debidos a este efecto.

f) A la salida de la bomba debe proyectarse una válvula de retención y una de compuerta. Se debe considerar la instalación de uniones flexibles de acuerdo a la importancia del sistema, a fin de mitigar los efectos de vibración.

g) En todo cambio de dirección deben considerarse elementos de anclaje y sujeción para la tubería.

4.3.5 Altura manométrica total o altura dinámica de bombeo

(1) La altura manométrica total es la que debe vencer la bomba para impulsar un volumen de agua.

(2) Deben considerarse los siguientes casos:

a) Bombeo con bombas no sumergibles (véase **Figura A.6** de **Anexo A**):

$$H_b = h_s + h_i + \Delta h_s + \Delta h_i$$

b) Bombeo con bombas sumergibles (véase **Figura A.7** de **Anexo A**):

$$H_b = h_i + \Delta h_i$$

Donde:

H_b	Altura total de bombeo en m
h_s	Altura geométrica de succión en m
h_i	Altura geométrica de impulsión en m
Δh_s	Altura de pérdida de carga en la tubería de succión en m
Δh_i	Altura de pérdida de carga en la tubería de impulsión en m

(3) El proyectista por seguridad podrá incrementar la altura de pérdida de carga en las tuberías, en función a la edad de las mismas, considerar la altura de carga por velocidad ($v^2/2g$) y/o adoptar una altura de presión mínima de llegada.

4.3.6 Dimensionamiento

(1) Para el dimensionamiento de las tuberías deben considerarse todos los aspectos señalados en 3.5 del Capítulo 3 para tuberías a presión.

4.3.7 Potencia del equipo de bombeo

(1) La potencia de la bomba y el motor debe ser diseñada con la siguiente fórmula:

$$P_b = \frac{Q_b * H_b}{75 * \eta}$$

Donde:

P_b	Potencia en CV (prácticamente HP) 1 CV = 0,986 HP
Q_b	Caudal de bombeo en l/s
H_b	Altura manométrica total en m
η	Eficiencia del sistema de bombeo $\eta = \eta_{motor} * \eta_{bomba}$

(2) Debe consultarse al proveedor o fabricante, sobre las curvas características de cada bomba y motor para conocer sus capacidades y rendimientos reales.

(3) La bomba seleccionada debe impulsar el volumen de agua para la altura dinámica deseada, con una eficiencia mayor a 70%.

(4) Debe considerarse la tensión y los ciclos de energía eléctrica de la red pública, particularmente deben verificarse la capacidad de los transformadores.

4.3.8 Tuberías de aducción por bombeo

(1) Las tuberías de aducción por bombeo no deben interceptar la línea píezométrica en las condiciones normales de funcionamiento con caudal mínimo.

(2) Cuando las condiciones topográficas llevan a una inflexión de la línea piezométrica, a partir del punto de inflexión el escurrimiento debe ser por gravedad.

(3) En el punto en que un conducto forzado por bombeo se transforme en un conducto forzado por gravedad, en el caso de ausencia de otros medios para garantizar el perfecto funcionamiento de la aducción, debe preverse un tanque con vertedor y conducto, dimensionados para el caudal de bombeo.

4.4 GOLPE DE ARIETE

(1) El análisis de golpe de ariete debe realizarse en:

a) Proyectos de nuevas aducciones por bombeo.

b) Proyecto de nuevas aducciones por gravedad.

c) En instalaciones existentes en las que se verifique ampliaciones debidas a un aumento de caudal, instalación de nuevas bombas, construcción de nuevos tanques de almacenamiento o variaciones de presión en cualquier sección de la aducción.

d) En las instalaciones existentes cuando hay cambio de las condiciones de operación normal y de emergencia.

e) En instalaciones existentes que van a ser incorporadas a un nuevo sistema aún cuando no sufran modificaciones de cualquier naturaleza.

(2) El análisis del golpe de ariete debe ser realizado estudiando diversos dispositivos de control a fin de seleccionar aquel que ofrezca la mayor protección posible a menor costo.

(3) Los dispositivos a considerar para el control del golpe de ariete son: válvulas de retención, válvulas con una o dos velocidades de cierre, válvulas de alivio, cámara de aire bajo presión, ventosas de doble efecto, tanque de compensación unidireccionales, chimeneas de equilibrio, volante y rotación en sentido inverso de las bombas centrífugas con cierre lento de válvulas.

(4) El análisis del golpe de ariete debe ser hecho para las condiciones normales de operación y también para las condiciones de emergencia posibles.

4.4.1 Sistemas por bombeo

4.4.1.1 Condiciones normales de operación

(1) Se consideran condiciones normales de operación a las siguientes:

a) Las interrupciones de energía eléctrica en los motores que accionan las bombas, cuando ocurren con frecuencia inferior a dos veces por año.

b) Perfecto funcionamiento de los dispositivos de control del golpe de ariete, en los siguientes casos:

i) Las válvulas de retención se cierran instantáneamente cuando ocurre una inversión en el sentido de escurrimiento.

ii) En las chimeneas de equilibrio el máximo nivel de agua no alcanza el tope de la chimenea, a menos que un vertedor esté previsto y el mínimo nivel de agua no favorece la entrada de aire en la canalización por el fondo de la chimenea.

iii) En los reservorios de aire comprimido el volumen mínimo de aire, para el cual el compresor de aire comienza a operar, es suficiente para el control del golpe de ariete.

c) Cuando existe válvula de bloqueo de escurrimiento y ésta está cerrada, la carcaza de las bombas y el tramo comprendido entre una bomba y una válvula, están sometidos a carga para la cual corresponde, en la curva característica de la bomba, un caudal nulo. Si una válvula de bloqueo es de abertura rápida, la carga arriba referida se transmite íntegramente a lo largo de 1/3 de la aducción de bombeo en el instante en que se da partida a la bomba.

d) En el instante en que se da una interrupción de energía eléctrica las bombas están funcionando con cargas manométricas comprendidas en el intervalo de cargas específicas para la instalación.

4.4.1.2 Condiciones de emergencia

(1) Se consideran condiciones de emergencia a las que resultan del funcionamiento inadecuado de los dispositivos de control del golpe de ariete, como las siguientes:

a) Si el dispositivo de control es del tipo válvula de alivio, una de esas válvulas debe ser admitida inoperante.

b) Cuando el dispositivo utilizado para impedir el escurrimiento en sentido inverso, fuera constituido por válvulas de retención, una de esas válvulas deberá cerrar en el instante en que no ocurra el máximo caudal inverso.

c) Cuando hay tanques de compensación unidireccional previstos como dispositivos de control de golpe de ariete, este tanque debe permitir el volumen mínimo de aire en el momento en que ocurra la partida de las bombas.

d) Las ventosas en la instalación deben ser consideradas todas inoperantes.

4.4.2 Sistemas por gravedad

4.4.2.1 Condiciones normales de operación

(1) Las condiciones normales de operación son las siguientes:

a) Operación de la instalación para los niveles de agua en los tanques de almacenamiento variando entre los mínimos y máximos conforme se especifica en el proyecto.

b) Funcionamiento de los dispositivos de control de golpe de ariete y de los dispositivos de cierre gradual de acuerdo a las condiciones de diseño.

4.4.2.2 Condiciones de emergencia

(1) Las condiciones de emergencia son las siguientes:

a) Seccionamiento del escurrimiento por medio de dispositivos de cierre de emergencia

b) Funcionamiento inadecuado de los dispositivos de cierre gradual y de dispositivos de control de golpe de ariete.

c) Ruptura en, por lo menos, una sección de cota geométrica.

4.4.3 Presiones máximas y esfuerzos a ser absorbidos

(1) En los dispositivos instalados para el control del golpe de ariete las presiones internas máximas no deben exceder:

a) En condiciones normales de operación, al valor de la presión admisible adoptada para cada material y para cada clase de tubería y de conexiones, tipos de juntas y para diversos equipamientos (bombas, válvulas, etc.) previstos en la instalación.

b) En condiciones de operación de emergencia, en 1,50 veces la presión admisible obtenida para cada material y para cada caso de tubería y de conexiones, tipo de juntas y para los diversos equipamientos de la instalación.

c) En condiciones normales y de emergencia, las presiones utilizadas para el cálculo de empujes aplicados a las estructuras de anclaje de las tuberías, conexiones y equipamientos.

d) La presión admisible se refiere, en el caso de los materiales metálicos a la presión que produce la máxima tensión de tracción de 0,50 veces la tensión de fluencia o la tensión límite de resistencia de los materiales de los que están hechos las tuberías, las conexiones y los equipamientos. En los demás casos, es la presión de ensayo hidráulico de las tuberías, dividida por un coeficiente de rugosidad no inferior a 2,5.

e) En ningún caso la presión de ensayo hidráulico podrá superar la presión dada por la fórmula:

$$\sigma = \frac{p * R}{e}$$

Donde:
- σ Tensión de rotura
- p Presión de ensayo hidráulico
- R Radio interno
- e Espesor de la pared del tubo

(2) En las instalaciones proyectadas sin dispositivos de control, los esfuerzos originados del fenómeno del golpe de ariete no podrán ser absorbidos por el material del que estén hechos los tubos y conexiones, por las juntas, por los anclajes y por los equipamientos de la instalación a menos que se verifiquen las siguientes condiciones:

a) Las presiones internas máximas debidas al escurrimiento en régimen permanente, sean inferiores a las presiones de servicio especificadas para cada material y clase de tubo, conexiones, equipamiento y tipo de juntas.

b) No existen condiciones de operación de emergencia.

c) La presión interna máxima no excede 4/3 la presión de servicio en caso de ocurrencia intermitente de golpe de ariete, y muy raramente podrán pasar dos ocurrencias por año.

d) En todos los casos arriba citados, deben estar justificados el costo mínimo y la seguridad con relación a los que se obtienen dotando a la instalación de dispositivos de control, y seguridad.

4.4.4 Presiones mínimas

(1) En las aducciones de las tuberías flexibles, la presión mínima debida al golpe de ariete no debe alcanzar valores inferiores a la presión atmosférica.

a) En el caso en que el material flexible es acero se debe admitir, a falta de otros recursos, la ocurrencia de una presión interna por debajo de la presión atmosférica, si se dimensiona adecuadamente el espesor “e” de la pared del tubo para evitar posibles achatamientos (colapso).

b) Para el dimensionamiento indicado se debe utilizar la fórmula de Stwart:

$$p_2 - p_1 = 3529060 * \left(\frac{e}{D}\right)^3$$

Donde:
- p_2 Presión externa (kgf/cm^2)
- p_1 Presión interna (kgf/cm^2)

c) Se debe reforzar la tubería con cantoneras circulares de hierro, colocadas a determinada distancia a lo largo de la tubería (según Allievi), de acuerdo a lo especificado en la **Tabla 16**.

Tabla 16. Refuerzo de tuberías

Diámetro (mm)	1,00	1,20	2,00
Espesor (mm)	4	5	6
Cantoneras (mm)	40x40x4	50x60x5	60x80x6
Espaciamiento (m)	1,00	1,20	1,40

4.4.5 Métodos de estudio

4.4.5.1 Aducciones por bombeo

(1) En aducciones por bombeo el estudio del golpe de ariete debe ser realizado por el método de las características, por vía numérica o gráfica o, cuando fuera el caso, por el método expuesto en el **Anexo D** o el método expuesto en el **Anexo F**, siempre que se presenten parcial o totalmente las siguientes condiciones:

a) Separación de la columna en las secciones del perfil de la aducción de cotas más elevadas cuya ocurrencia debe ser verificada por el criterio del Anexo F.

b) Longitud de aducción inferior a 20 veces la carga total media de la sección de salida de las bombas.

c) Velocidad media máxima en las secciones de la aducción, superior a 1,00 m/s.

d) Posible falla de cierre de las válvulas a la salida de las bombas.

e) Las presiones actuantes exceden los 2/3 de la presión admisible especificada para cada clase de tuberías y conexiones.

f) Tiempo para alcanzar el inicio de reversión de la bomba, menor que el tiempo de ida y vuelta de la onda de presión a lo largo de la aducción.

g) Tiempo de cierre de la válvula de retención menor que el tiempo de ida y vuelta de la onda de presión a lo largo de la aducción.

h) Tiempo de cierre de válvulas automáticas menor a 5 segundos.

(2) En aducciones por bombeo en las que el golpe de ariete es debido a la interrupción de la energía eléctrica se admite la evaluación, en primera aproximación, de las máximas y mínimas presiones, por el método de propagación de las ondas de presión (**Anexo D**), adoptándose un caudal igual a 105% del caudal máximo de proyecto con las siguientes hipótesis para la aplicabilidad del método:

a) Parada de las bombas por interrupción de la energía eléctrica.

b) Tubería de succión corta (longitud no superior a 50 m).

c) Las máximas reducciones y elevaciones de presión son válidas para la válvula en la sección de salida de las bombas mantenida completamente abierta.

d) El cálculo de la máxima reducción de presión permanece también válido para la válvula en la sección de salida de las válvulas cerrando lentamente.

e) Cuando la válvula en la salida de las bombas es del tipo que cierra instantáneamente se calcula solamente la máxima reducción de presión.

f) Las pérdidas de carga total y singulares son del orden del 5% de la altura geométrica z_g.

g) En el caso de diversas bombas operando en paralelo, éstas deben presentar el mismo tiempo de arranque y desligamiento simultáneo.

(3) En las instalaciones elevadoras en las que:

a) La tubería de succión es corta.

b) La pérdida de carga a lo largo de la tubería de impulsión puede ser despreciada para efecto del golpe.

c) Las bombas son centrífugas y están equipadas con válvulas de retención en las secciones de salida.

d) La paralización de las bombas ocurre por la interrupción de la energía eléctrica. El cálculo del golpe de ariete debe ser efectuado por el método indicado en el **Anexo F**, excepto en los siguientes puntos:

i) El método de cálculo del **Anexo F** no es válido si las líneas piezométricas (**Figura F.1** del **Anexo F**) trazadas con las cargas piezométricas mínimas obtenidas antes y después de anularse el caudal en las bombas, determina presiones inferiores a las presiones atmosféricas en las secciones de tubería de impulsión donde hubiera válvulas ventosas o inferiores a la presión de vapor del líquido a temperatura a la que está ocurriendo en las secciones sin válvulas ventosas.

ii) El método de cálculo del **Anexo F** debe ser determinado para ver si hay ocurrencia de separación de columna, lo mismo que, cuando en la salida de las bombas están previstos equipamientos anti-golpe distintos de las válvulas de retención desde que sea trazada una línea píezométrica con una carga mínima obtenida antes de anular en caudal en las bombas.

4.4.5.2 Aducciones por gravedad

(1) En las aducciones a gravedad, el estudio del golpe de ariete debe ser realizado por el método de las características, por vía numérica o gráfica, o cuando fuera el caso, por el método especificado en el **Anexo G**, siempre que se presenten parcial o totalmente las siguientes condiciones:

a) Separación de la columna en las secciones del perfil de la aducción de cotas más elevadas, en el caso de posibles rupturas o durante maniobras de válvulas de operaciones de emergencia.

b) Necesidad de alivio del tiempo mínimo de cierre de válvula para interrupción del escurrimiento para las operaciones de emergencia y normales.

c) Maniobra de válvula de regulación de caudal con grandes variaciones de velocidad con relación al tiempo.

d) Accionamiento y paralización de las bombas conectadas a la aducción.

e) Las presiones internas actuantes exceden los 2/3 de la presión admisible especificada para cada clase de tubería y conexiones.

f) Elevación de presión en cualquier sección de la aducción por medios mecánicos elevadores de presión.

(2) Las aducciones por gravedad en las que el golpe de ariete fuera debido a la maniobra de la válvula en la extremidad de ajuste de la tubería con velocidad de cierre o de abertura uniformes, se admiten una evaluación de las diversas variables que intervienen, en primera aproximación, empleando el método presentado en el **Anexo G**, con la siguiente limitación:

a) La aducción no posee bifurcaciones pudiendo estar constituida por tramos de secciones diferentes, caso en el que la aceleración y velocidad media equivalente se calculan por:

$$\frac{L}{a} = \frac{L_1}{a_1} + \frac{L_2}{a_2} + ... + \frac{L_n}{a_n}$$

$$v * L = v_1 * L_1 + v_2 * L_2 + ... + v_n * L_n$$

Donde:

L	Longitud total de la aducción en m
v	Velocidad media en m/s
a	Aceleración en m/s^2
L_1	Longitud correspondiente al i-ésimo tramo en m
V_1	Velocidad correspondiente al i-ésimo tramo en m/s
a_1	Aceleración correspondiente al i-ésimo tramo en m/s^2

b) Si la aducción es de diámetro constante y h es el valor de variación de la presión (m.c.a.), en la extremidad inferior, la carga píezométrica a ser considerada para el cálculo en la sección de abscisa x con relación a la extremidad superior, esta dada por:

$$H = H_o + \frac{h * (L - x)}{L}$$

Donde:

H	Altura piezométrica de la posición x de la aducción en m
H_o	Altura piezométrica en la posición inicial de la aducción en m
H	Variación de la presión en m
x	Longitud parcial de la tubería en el punto x en m
L	Longitud total de la aducción en m

c) Si la aducción es de diámetro constante y admite bifurcación debe aplicarse lo anteriormente descrito a cada uno de los conductos, debiéndose tomar solamente en una bifurcación las máximas variaciones de presión de entre las máximas variaciones presentadas en cada conducto que se une en la bifurcación.

4.5 ESPECIFICACIONES Y CONTROL DE CALIDAD

(1) Las especificaciones técnicas de las tuberías y accesorios deben cumplir los requerimientos de la Norma Boliviana correspondiente (NB 513, NB 645, NB 646, NB 708, NB 788 y NB 1069).

(2) Asimismo, los proveedores deben presentar la certificación de control de calidad otorgado por el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) y la certificación de su utilización en trabajos exitosos y de importancia.

(3) Si los proveedores presentasen certificados otorgados en el exterior, estos deben ser homologados en nuestro país.

4.6 PRUEBAS DE PRESIÓN

(1) El proyecto de una tubería de aducción por gravedad o por bombeo, debe contemplar las especificaciones relativas a las pruebas hidráulicas necesarias para la verificación del tendido de las tuberías, de la estanqueidad de las mismas y de sus correspondientes uniones.

(2) Las especificaciones deben detallar el procedimiento a seguir durante las pruebas o las normas a las cuales se sujetarán las mismas, las presiones a las que se someterá la aducción y el tiempo de duración de las mismas.

CAPÍTULO 5
DISPOSITIVOS COMPLEMENTARIOS

5.1 GENERALIDADES

(1) A efecto del correcto funcionamiento de las conducciones, se deben instalar en su recorrido diversos elementos según las necesidades de cada caso.

5.2 TIPO Y UBICACIÓN DE VÁLVULAS

(1) Las válvulas que serán utilizadas en la construcción de la aducción ya sea por gravedad o por bombeo, responderán a diferentes necesidades del proyecto específico.

5.2.1 Válvulas de bloqueo

(1) Deben utilizarse para aislar distintos tramos de tubería a fin de realizar reparaciones o trabajos especiales.

(2) El tipo de válvula debe ser elegido sobre la base del propósito buscado y al diámetro de la tubería donde será instalada. Dentro de este tipo de válvulas están: las válvulas de compuerta, mariposa y esfera.

5.2.2. Válvulas de purga y entrada de aire

(1) En los puntos altos de la línea de aducción, mediante tubería a presión, deben instalarse válvulas de purga de aire a efectos de facilitar la salida del aire, que eventualmente se acumula en la conducción durante su funcionamiento o bien cuando se proceda a su llenado. Dichos dispositivos deben permitir la entrada automática de aire durante las operaciones de descarga de la tubería o cuando la descarga de agua fuera provocada por rotura, maniobras o paralización de la aducción (ver **Figura A.8** de **Anexo A**).

(2) Se debe adoptar un dispositivo único para atender la entrada y salida de aire, siempre y cuando éste sea capaz de atender ambas funciones.

(3) Cuando haya un tanque instalado en una cota de elevación mas baja que los probables sitios de bolsones de aire y que estos se encuentren por lo menos 10 m por debajo del nivel dinámico, se puede evitar la instalación de la válvula de purga de aire.

(4) Dependiendo del costo y en caso de no disponer de válvulas purgadoras de aire, se podrá considerar la instalación de otras válvulas como las de control.

(5) Estas válvulas se deben instalar sobre una derivación de la tubería, instalada sobre la generatriz superior.

(6) El diámetro de la ventosa depende de la tubería sobre la que se instale, siendo la relación de diámetros aconsejables de 1/4 a 1/6.

(7) El diámetro mínimo de las ventosas debe ser:

i) Para tuberías con DN <= 100 mm:50 mm
ii) Para tuberías con DN > 100 mm: 75 mm

(8) Toda válvula debe estar protegida con una cámara de inspección accesible, con su respectivo drenaje.

(9) Los dispositivos de entrada de aire deben estar localizados de modo de no introducir en la tubería, agua extraña al sistema. En el caso de aducción con conducción de agua potable, los dispositivos previstos deben ser instalados de manera que sus aberturas se sitúen por lo menos un metro por encima del nivel máximo de agua que se pudiese acumular en el sitio.

(10) Se deben disponer puntos intermedios para entrada de aire en la tubería cuando la línea píezométrica corresponde a la descarga de un tramo de conducto durante operaciones de mantenimiento y/o reparación, se sitúe por debajo de éste, de forma tal que cause problemas de discontinuidad en la columna líquida o problemas de colapso del conducto.

(11) El tiempo máximo para la descarga de cualquier tramo de tubería a presión no debe ser superior a 30 minutos. El tiempo mínimo de descarga debe determinarse en función a las condiciones propias de la tubería. El tiempo mínimo para el llenado de la parte del conducto afectada por la descarga no debe ser mayor a 60 minutos.

(12) Para cumplir los requisitos anteriores, debe ser necesario instalar válvulas de bloqueo intermedias a lo largo de la aducción y preferiblemente en sus tramos ascendentes destinados a paralizar el flujo de agua.

(13) Como dispositivos automáticos para la entrada y salida de aire pueden utilizarse:

a) Ventosas simples, para la descarga de aire acumulado durante el proceso normal de la aducción.

b) Ventosas de doble efecto para la descarga de aire acumulado durante el llenado del proceso normal de aducción y para la entrada de aire en las operaciones de descarga de agua.

c) Válvulas de retención para la entrada de aire durante las operaciones de descarga de agua.

d) Tubos verticales cuando su extremidad superior pueda situarse por encima de la línea píezométrica máxima, para la entrada de aire.

(14) Será necesario adoptar un paso lateral (by pass) interligando ambos lados de la válvula intermedia; éste paso debe estar dotado de una válvula propia para cierre, cuando:

a) La válvula intermedia se localice en tramos descendentes de la aducción y su abertura no pueda ser realizada sin causar perjuicios a su estructura.

b) La válvula intermedia fuera del tipo compuerta y la presión en el punto en que estuviese instalada, provoque un empuje superior a 20 kN.

5.2.3 Válvulas de desagüe

(1) En los puntos bajos de la tubería de aducción deben instalarse válvulas de limpieza o de desagüe.

(2) En lugares donde la aducción presenta un sifón invertido con ángulos mayores a 25° con la horizontal se deben colocar válvulas de limpieza y purga de lodos.

(3) La válvula debe permitir la descarga de toda el agua contenida en la tubería.

(4) La instalación de válvulas de limpieza debe ser realizada a través de una tubería que tenga, en principio, el mismo diámetro de la aducción, pudiendo luego ser disminuido a través de una reducción excéntrica, de manera que se permita la total evacuación hasta un punto de descarga alejado del trazado.

(5) El diámetro de la tubería de desagüe debe estar entre D/4 a D/3 (D = diámetro de la tubería principal), con un mínimo de 75 mm para tuberías mayores a 100 mm. Para diámetros menores a 100 mm se debe adoptar el mismo diámetro de la tubería principal.

(6) Cada válvula debe estar protegida con una cámara de inspección accesible con su respectivo drenaje.

(7) El dimesionamiento de la descarga debe hacerse sobre la base de:

a) La obtención de una velocidad mínima compatible con la remoción del material sedimentado en su interior, durante por lo menos el primer minuto de descarga.

b) El tiempo máximo para su realización sea impuesta por las condiciones de operación.

c) El caudal máximo permitido por el receptor del agua de la descarga.

5.2.4 Columna de ventilación

(1) Cumple la misma función que la válvula de aire y debe utilizarse cuando las presiones de trabajo de la tubería de aducción son menores a 4 m.c.a. La ventaja respecto a las anteriores es que no requiere mantenimiento.

5.2.5 Dispositivo antiariete

(1) Si bien la eliminación total del golpe de ariete no es posible, estos dispositivos deben limitar las sub y sobre presiones a valores compatibles con la resistencia de la tubería y dispositivos de cierre. Comúnmente se utilizan: los volantes para aumentar la inercia, tanques de aire, chimeneas de equilibrio o tanques de agua.

5.2.6 Válvula de protección contra golpe de ariete

(1) Este tipo de válvulas deben instalarse en tuberías de aducción por bombeo sometidas a riesgo de golpe de ariete, sobre la línea de impulsión, para la protección de las bombas y tuberías correspondientes.

5.2.7 Válvulas reductoras de presión

(1) Estas válvulas reducen automáticamente la presión de agua debajo de las mismas, hasta un valor prefijado, admisible para las instalaciones agua abajo.

5.3 MATERIALES DE LAS VÁLVULAS

(1) Los materiales de los que se hallan constituidas las válvulas, tanto en el cuerpo como en los mecanismos de cierre, deben cumplir con las especificaciones técnicas reconocidas internacionalmente, en función a las características del agua (grado de agresividad y otros) así como de las presiones de servicio requeridas.

(2) Los criterios y condiciones mínimas de diseño, deben cumplir lo establecido en el Reglamento Técnico de Diseño de Válvulas, Tuberías y Accesorios para Sistemas de Agua Potable.

CAPÍTULO 6
ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS

6.1 ESTACIONES REDUCTORAS DE PRESIÓN

(1) Con el objetivo de reducir la altura de presión hasta un valor menor y establecer un nuevo nivel estático, debe emplearse una estación reductora de presión.

(2) Una estación reductora de presión debe emplearse también cuando la calidad de las tuberías, válvulas y accesorios de la tubería de aducción no permite soportar altas presiones, así como para mantener las presiones máximas de servicio en una red de distribución dentro de los límites permisibles de presión.

(3) Las estaciones reductoras de presión deben estar basadas en el uso de válvulas reductoras de presión o en el uso de cámaras rompe presión que permitan igualar la presión atmosférica correspondiente.

6.1.1 Válvulas reguladoras de presión

(1) Las válvulas reductoras de presión deben instalarse en la bifurcación de una línea, para permitir el funcionamiento de la instalación en caso de avería y/o mantenimiento de una de ellas, con las correspondientes válvulas de cierre, filtros manómetros, etc.

(2) Las válvulas reguladoras de presión deben estar dispuestas en cámaras que brinden un acceso adecuado para las labores de montaje, operación y mantenimiento.

6.1.2 Cámaras rompe presión

(1) Las cámaras rompe presión deben construirse para evitar presiones elevadas, superiores a la capacidad de trabajo de las tuberías y accesorios.

(2) Las cámaras rompe presión permiten que la línea píezométrica en la línea de aducción disminuya a un valor igual a la presión atmosférica.

(3) Para la localización de las cámaras rompe presión se deben seguir los siguientes criterios:

a) Mantener la carga máxima estática de acuerdo a la presión de trabajo del material utilizado (tuberías y accesorios)

b) En lugares accesibles con condiciones de suelo adecuados para la construcción

c) Las condiciones que deben tomarse en cuenta para el diseño son (ver **Figura A.9** de **Anexo A**):

i) Debe estar constituida por dos cámaras interconectadas por un vertedero sumergido. La primera cámara de disipación de energía debe ser igual a 2/3 de la longitud total de la cámara rompe presión.

ii) Las dimensiones de las cámaras deben ser calculadas para un tiempo de retención de 5 a 10 minutos.

iii) La profundidad de agua respecto a la tubería de salida, debe determinarse en función a las pérdidas de carga, garantizando una abertura necesaria que permita la circulación del caudal de diseño.

iv) El ingreso a la cámara se debe realizar mediante un chorro sumergido multidireccional.

v) Debe instalarse una válvula a la salida y otra de limpieza. Asimismo debe instalarse una tubería de rebose y otra de ventilación para evitar presiones negativas.

6.2 ANCLAJES

(1) Las tuberías de aducción deben contar con anclajes de seguridad cuando:

a) Están expuestas a la intemperie y requieren estar apoyadas en soportes o adosadas a formaciones naturales de roca.

b) Se presentan cambios de dirección horizontales o verticales en tramos enterrados o expuestos.

c) Existe una disminución de diámetro o de dispositivos para el cierre o reducción del flujo de conductos discontinuos.

d) Las tuberías son colocadas en pendientes mayores a 60° respecto a la horizontal.

(2) En la **Figura A.10** de **Anexo A**, se presentan los anclajes más comunes para curvas horizontales y verticales, tés y terminaciones de tuberías.

(3) Para el cálculo se debe tomar en cuenta el efecto equilibrante del terreno siempre y cuando se tenga certeza de su permanencia. Para efectos de estabilidad el empuje pasivo del terreno adyacente debe considerarse hasta un valor máximo de 1,00 kgf/cm^2.

(4) La resultante para curvas horizontales y verticales se calcula con la siguiente fórmula práctica:

$$F = 2 * \pi * p * R^2 * \text{sen } (\alpha/2)$$

Donde:

F	Fuerza o empuje resultante en kg
p	Presión interna en m
R	Radio de la tubería que transporta el líquido en m
α	Angulo de curva en grados

(5) Para tees y terminaciones de tuberías:

$$F = \pi * p * R^2$$

(6) La fuerza F debe ser resistida por el peso total del anclaje cuando éste es superficial o por la resistencia del terreno cuando la tubería esta enterrada.

(7) Cuando el anclaje esta en enterrado la superficie de contacto es:

$$A \geq \frac{F}{\sigma}$$

Donde: A Superficie de contacto en m^2
F Fuerza resultante en kg
σ Resistencia del suelo en kg/m^2 (véase **Tabla 1** Reglamento de Tanques de Almacenamiento para Sistemas de Agua Potable).

(8) Los anclajes deben ser metálicos o de hormigón armado, simple o ciclópeo. Asimismo, deben contar con el cálculo estructural y análisis de costos.

6.3 CÁMARA DIVISORA DE FLUJO

(1) La cámara divisora de flujo divide el flujo en canales por gravedad, en dos o más partes, destinadas a diferentes usos o tanques de almacenamiento.

(2) La cámara divisora debe emplearse en los siguientes casos:

a) Cuando el proyecto considere mas de un tanque de almacenamiento.

b) Cuando existan diferentes usos del agua.

6.4 ESTRUCTURAS ESPECIALES

(1) Cuando la tubería de aducción cruce carreteras, vías férreas, ríos, arroyos u otro tipo de obstáculos se deben proyectar estructuras especiales como puetes, pasos colgantes u otros, que garanticen la seguridad de la misma.

(2) Las estructuras especiales deben ser metálicas, de madera u hormigón armado simple o ciclópeo. Asimismo, deben contar con el cálculo estructural y análisis de costos respectivo.

(3) En el paso de la tubería de aducción por fondos de valle u otras zonas por donde puedan escurrir aguas de lluvia, siendo el conducto elevado, debe dejarse una sección libre suficiente para permitir el paso del caudal máximo correspondiente a una lluvia máxima con un período de recurrencia de 20 años y deben preverse apoyos protegidos contra la erosión.

(4) Para el dimensionamiento de las estructuras de las tuberías deben considerarse los siguientes esfuerzos combinados o separados:

a) Presiones internas.
b) Cargas externas.
c) Peso propio y peso del agua transportada.
d) Esfuerzos producidos por el cambio de dirección, de contracciones y de dispositivos para el cierre de los conductos.
e) Esfuerzos resultantes de las variaciones de temperatura.

(5) Las cargas externas que actúan sobre conductos enterrados deben ser determinadas según las normas propias o, a falta de éstas, las especificaciones de los fabricantes de la tubería.

(6) Los esfuerzos en la instalación de tuberías sobre apoyos discontinuos deben ser resultantes del peso propio del conducto, peso del agua contenida en el conducto, cargas externas presentes y, donde sea aplicable, variaciones de temperatura.

(7) Las fundaciones de los conductos deben soportar la carga externa incrementada por su peso propio y del agua contenida en el conducto, asimismo, deben soportar:

a) La carga soportante de las estructuras existentes entre las fundaciones y el conducto.

b) Los esfuerzos resultantes de la resistencia al deslizamiento longitudinal presentada por los apoyos del conducto que se localicen sobre la fundación.

6.4.1 Obras de arte

(1) El paso de la tubería de aducción por fondos de valle u otras zonas por donde pueda escurrir aguas de lluvia, siendo el conducto enterrado, debe ser realizado previendo obras contra la erosión, para impedir que el conducto sea descubierto.

(2) Las obras de arte tales como sifones, cruces de carreteras, vías férreas o para salvar pasos de ríos, quebradas o depresiones del terreno, deben proyectarse de tal forma que garanticen la durabilidad, permanencia y buen funcionamiento de las obras.

(3) En caso de atravesar vías de ferrocarril, rutas nacionales o provinciales, se deben acompañar los detalles de obra de acuerdo con lo exigido por los organismos afectados.

6.4.2 Protecciones

(1) Se refiere a la instalación de la aducción al interior de un conducto mayor, destinado a su protección contra acciones exteriores o destinada a proteger la faja atravesada contra la ruptura de la aducción. El conducto mayor debe tener una sección suficiente para permitir la realización de trabajos de mantenimiento de la aducción colocada en su interior; el conjunto debe permitir el retiro de la aducción instalada al interior de la tubería de protección sin que sea necesario proceder a cortes o demoliciones y sin perjudicar la estructura del revestimiento externo de la aducción.

(2) La protección de conductos no enterrados debe ser obligatoria, cuando éstos atraviesan zonas o lugares donde puedan estar sujetos a averías de cualquier naturaleza, provocadas por agentes reales o potenciales.

ANEXO “A”
FIGURAS - ADUCCIONES

ANEXO “B”
MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE VARIABLE, CURVAS DE REMANSO

ANEXO “C”
REDUCCIÓN DE CAUDALES POR EVEJECIMIENTO DE TUBERÍAS

ANEXO “D”
GOLPE DE ARIETE

ANEXO “E”
VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE PRESIÓN

ANEXO “F”
CALCULO DE LA PRESIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA EN BOMBAS

ANEXO “G”
PROCEDIMIENTO DE ALLIEVI

ANEXO “H”
SIMBOLOS GRÁFICOS

ANEXO B
MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE VARIABLE, CURVAS DE REMANSO

(1).Se determina "η" de la **Tala B.3**

(2).Se calcula la profundidad normal h_o y la pendiente critica I_c con el empleo de las siguientes fórmulas:

$$Q = C * S * (R * I)^{1/2}$$

$$\frac{Q}{g^{1/2}} = S * \left(\frac{S}{L}\right)^{1/2}$$

Donde: L Longitud de la sección en superficie libre en m

(3).Se calcula los parámetros:

$$\eta_1 = \frac{h_1}{h_2} \qquad \eta_2 = \frac{h_2}{h_o} \qquad \beta = \frac{I}{I_c}$$

Donde: h_1 y h_2 son profundidades conocidas en las secciones 1-1 y 2-2 de la aducción

(4).Se deduce B(η) mediante la **Tabla B.2**

(5). La distancia entre las dos secciones es:

$$\Delta_s = s_2 - s_1 = \frac{h_o}{I}\{(\eta_2 - \eta_1) - (1 - \beta) * [(B(\eta_2) - B(\eta_1)]\}$$

Tabla B.1 Curvas de remanso – Valores de $\phi(\eta)$

η	N=2,80	n=3,00	N=3,20	n=3,40	n=3,60	n=3,80	n=4,00	n=4,20
1,001	1,398	1,183	1,007	0,855	0,724	0,609	0,507	0,416
005	0,813	0,644	0,501	379	274	183	102	031
1,010	0,562	0,409	0,281	0,172	0,079	+ 0,003	+ 0,074	+ 0,137
1,015	0,413	0,271	0,151	0,050	+ 0,037	0,113	0,179	0,237
1,02	0,307	0,171	0,058	+ 0,038	0,120	0,192	0,254	0,309
1,03	0,156	0,030	+ 0,075	0,164	0,240	0,305	0,362	0,412
1,04	0,046	+ 0,073	0,172	0,255	0,326	0,387	0,440	0,486
1,05	+ 0,040	0,154	0,248	0,327	0,394	0,452	0,502	0,546
06	112	222	312	388	452	507	554	596
07	174	280	367	440	501	554	599	639
08	229	331	415	485	545	595	639	677
09	278	377	459	527	584	633	675	711
1,10	0,323	0.419	0,499	0,564	0,620	0,667	0,708	0,743
11	364	458	535	599	653	699	738	772
12	402	494	569	632	684	728	766	799
13	438	528	601	662	713	756	793	825
14	471	559	631	690	740	782	818	849
1,15	0,503	0,589	0,660	0,718	0,766	0,807	0,842	0,872
16	533	618	687	743	791	831	865	894
17	562	645	712	768	814	853	887	915
18	589	671	737	792	837	875	908	936
19	616	696	761	815	859	896	928	955
1,20	0,641	0,720	0,784	0,837	0,880	0,917	0,948	0,974
22	689	766	828	879	921	956	985	1,011
24	735	809	869	918	959	992	1,021	045
26	778	850	909	956	995	1,027	055	078
28	819	889	946	992	1,030	061	087	110
1,30	0,858	0,927	0,982	1,026	1,063	1,093	1,119	1,140
32	896	963	1,016	060	095	124	149	170
34	932	998	0,50	092	126	155	178	198
36	967	1,031	0,82	123	156	184	207	226
38	1,002	064	114	154	186	213	235	253
1,40	1,035	1,096	1,144	1,183	1,215	1,241	1,262	1,280
42	0,67	127	174	212	243	268	289	306
44	0,99	158	204	241	271	295	315	332
46	130	187	233	259	298	321	341	357
48	160	217	261	296	324	347	367	382
1,50	1,190	1,245	1,289	1,323	1,351	1,373	1,392	1,407
55	262	315	356	389	415	436	453	467
60	331	382	421	452	477	497	513	526
65	399	447	485	514	537	556	571	583
70	464	511	547	575	597	614	628	640
1,75	1,538	1,573	1,607	1,634	1,655	1,671	1,685	1,696
80	591	634	667	692	712	728	740	751
85	652	694	725	750	768	783	795	805
90	712	753	783	806	824	838	850	859
95	772	811	840	862	880	893	904	912
2,00	831	868	896	918	934	947	957	965
1	946	981	2,008	2,027	2,042	2,054	2,063	2,070
2	2,059	2,093	117	135	149	160	168	175
3	171	202	225	242	255	265	272	278
4	281	311	332	348	360	369	376	381
2,50	2,390	2,418	2,438	2,453	2,464	2,472	2,478	2,438
6	498	524	543	557	567	575	581	585
7	605	630	648	661	671	678	683	687
8	711	735	752	764	773	780	785	788
9	817	840	856	865	876	882	886	890

Tabla B.1 Curvas de remanso – Valores de ϕ (η)

η	N=2,80	n=3,00	N=3,20	n=3,40	n=3,60	n=3,80	n=4,00	n=4,20
3,0	2,922	2,944	2,959	2,970	2,978	2,983	2,988	2,991
5	3,441	3,459	3,471	3,479	3,485	3,489	3,492	3,494
4,0	954	969	978	985	990	993	995	996
5	4,463	4,475	4,483	4,489	4,492	4,495	4,496	4,497
5,0	4,969	4,980	4,987	4,991	4,994	4,996	4,997	4,998
6,0	5,978	5,986	5,991	5,994	5,996	5,998	5,998	5,999
7,0	6,983	6,990	6,994	6,996	6,998	6,998	6,999	6,999
8,0	7,987	7,992	7,995	7,997	7,998	7,999	7,999	
9,0	8,989	8,994	8,996	8,998	8,999	8,999		
10,0	9,991	9,995	9,997	9,998	9,999	9,999		

Tabla B.2 Curvas de remanso – método de Bakhmeteff - Valores de B(η)

η > 1											
η	N=2,80	n=3,00	N=3,20	n=3,40	n=3,60	n=3,80	n=4,00	n=4,20	n=4,40	n=5,00	n=5,40
1,001	2.399	2,184	2,008	1,856	1,725	1,610	1,508	1,417	1,264	1,138	1,033
005	1,818	1,649	1,506	384	279	188	107	036	0,915	0,817	0737
010	572	419	291	182	089	007	0,936	1,873	766	681	610
015	428	286	166	065	0,978	0,902	836	778	680	602	537
020	327	191	078	0,982	900	828	766	711	620	546	486
1,03	1,186	1,060	0,955	0,866	0,790	0,725	0,668	0,618	0,535	0,469	0,415
04	086	0,967	868	785	714	653	600	554	477	415	365
05	010	896	802	723	656	598	548	504	432	374	328
06	0,948	838	748	672	608	553	506	464	396	342	298
07	896	790	703	630	569	516	471	431	366	315	273
1,08	0,851	0,749	0,665	0,595	0,535	0,485	0,441	0,403	0,341	0,292	0,252
09	812	713	631	563	506	457	415	379	319	272	234
10	777	681	601	536	480	433	392	357	299	254	218
11	746	652	575	511	457	411	372	338	282	239	204
12	718	626	551	488	436	392	354	321	267	225	192
1,13	0,792	0,602	0,529	0,468	0,417	0,374	0,337	0,305	0,253	0,212	0,181
14	669	581	509	450	400	358	322	291	240	201	170
15	647	561	490	432	384	343	308	278	229	191	161
16	627	542	473	417	369	329	295	266	218	181	153
17	608	525	458	402	356	317	283	255	208	173	145
1,18	0,591	0,509	0,443	0,388	0,343	0,305	0,272	0,244	0,199	0,165	0,138
19	574	494	429	375	331	294	262	235	191	157	131
20	559	480	416	363	320	283	252	226	183	150	125
22	531	454	392	341	299	264	235	209	168	138	114
24	505	431	371	322	281	248	219	195	156	127	104
1,26	0,482	0,410	0,351	0,304	0,265	0,233	0,205	0,182	0,145	0,117	0,095
28	461	391	334	288	250	219	193	170	135	108	088
30	442	373	318	274	237	207	181	160	126	100	081
32	424	357	304	260	225	196	171	150	118	093	075
34	408	342	290	248	214	185	162	142	110	087	069
1,36	0,393	0,329	0,278	0,237	0,204	0,176	0,153	0,134	0,103	0,081	0,064
38	378	316	266	226	194	167	145	127	097	076	060
40	365	304	256	217	185	159	138	120	092	071	056
42	353	293	246	208	177	152	131	114	087	067	052
44	341	282	236	199	169	145	125	108	082	063	049
1,46	0,330	0,273	0,227	0,191	0,162	0,139	0,119	0,103	0,077	0,059	0,046
48	320	263	219	184	156	133	113	098	073	056	043
50	310	255	211	177	149	127	108	093	069	053	040
55	288	235	194	161	135	114	097	083	061	046	035
60	269	218	179	148	123	103	087	074	054	040	030
1,65	0,251	0,203	0,165	0,136	0,113	0,094	0,079	0,067	0,048	0,035	0,026
70	236	189	153	125	103	086	072	060	043	031	023
75	212	177	143	116	095	079	065	054	038	027	020
80	209	166	133	108	088	072	060	049	034	024	017
85	198	156	125	100	082	0,67	055	045	031	022	015

Tabla B.2 Curvas de remanso – método de Bakhmeteff - Valores de B(η) (Continuación)

η > 1											
η	**N=2,80**	**n=3,00**	**N=3,20**	**n=3,40**	**n=3,60**	**n=3,80**	**n=4,00**	**n=4,20**	**n=4,40**	**n=5,00**	**n=5,40**
1,85	0,198	0,156	0,125	0,100	0,082	0,067	0,055	0,045	0,031	0,022	0,015
1,90	188	147	117	094	076	062	050	041	028	020	014
1,95	178	139	110	088	070	057	046	038	026	018	012
2,00	169	132	104	082	066	053	043	035	023	016	011
2,10	154	119	092	073	058	046	037	030	019	013	009
2,2	0,141	0,107	0,083	0,065	0,051	0,040	0,032	0,025	0,016	0,011	0,007
2,3	129	098	075	058	046	035	028	022	014	009	006
2,4	119	089	068	052	040	031	024	019	012	008	005
2,5	110	082	062	047	036	028	022	017	010	006	004
2,6	102	076	057	043	033	025	019	015	009	005	003
2,7	0,095	0,070	0,052	0,039	0,029	0,022	0,017	0,013	0,008	0,005	0,003
2,8	089	065	048	036	027	020	015	012	007	004	002
2,9	083	060	044	033	024	018	014	010	006	004	002
3,0	078	056	041	030	022	017	012	009	005	003	002
3,5	059	041	029	021	015	011	008	006	003	002	001
4,0	0,046	0,031	0,022	0,015	0,010	0,007	0,005	0,004	0,002	0,001	
4,5	037	025	017	011	008	005	004	003	001	001	
5,0	031	020	013	009	006	004	003	002	001	000	
6,0	022	014	009	006	004	002	002	001	000		
7,0	017	010	006	004	002	002	001	001			
8,0	0,013	0,008	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001				
9,0	011	006	004	002	001	001	000				
10,0	009	005	003	002	001	001	000				
20,0	003	002	001	001	000	000	000				

η < 1											
η	**N=2,80**	**n=3,00**	**N=3,20**	**n=3,40**	**n=3,60**	**n=3,80**	**n=4,00**	**n=4,20**	**n=4,40**	**n=5,00**	**n=5,40**
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
02	020	020	020	020	020	020	020	020	020	020	020
04	040	040	040	040	040	040	040	040	040	040	040
06	060	060	060	060	060	060	060	060	060	060	060
08	080	080	080	080	080	080	080	080	080	080	080
0,10	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
12	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
14	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
16	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
18	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
0,20	0,201	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
22	221	221	220	220	220	220	220	220	220	220	220
24	241	241	240	240	240	240	240	240	240	240	240
26	262	261	261	261	261	260	260	260	260	260	260
28	282	282	282	281	281	280	280	280	280	280	280

Tabla B.2 Curvas de remanso – método de Bakhmeteff - Valores de b(h) (Continuación)

η < 1											
η	N=2,80	n=3,00	N=3,20	n=3,40	n=3,60	n=3,80	n=4,00	n=4,20	n=4,40	n=5,00	n=5,40
0,28	0,282	0,282	0,281	0,281	0.281	0,28	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280
30	303	302	302	301	301	301	300	300	300	300	300
32	324	323	322	322	321	321	321	321	320	320	320
34	344	343	343	342	342	341	341	341	340	340	340
36	366	364	363	363	362	362	361	361	361	360	360
0,38	0,387	0,385	0,384	0,383	0,383	0,382	0,382	0,381	0,381	0,381	0,380
40	408	407	405	404	403	403	402	402	401	401	400
42	430	428	426	425	424	423	423	422	421	421	421
44	452	450	448	446	445	444	443	443	442	441	441
46	475	472	470	468	466	465	464	463	462	462	461
0,48	0,497	0,494	0,492	0,489	0,488	0,486	0,485	0,484	0,483	0,482	0,481
50	521	517	514	511	509	508	506	505	504	503	502
52	524	540	536	534	531	529	528	527	525	523	522
54	568	563	559	556	554	551	550	548	546	544	543
56	593	587	583	579	576	574	572	570	567	565	564
0,58	0,618	0,612	0,607	0,603	0,599	0,596	0,594	0,592	0,589	0,587	0,585
60	644	637	631	627	623	620	617	614	611	608	606
61	657	650	644	639	635	631	628	626	622	619	617
62	671	663	657	651	647	643	640	637	633	630	628
63	684	676	669	664	659	655	652	649	644	641	638
0,64	0,698	0,690	0,683	0,677	0,672	0,667	0,664	0,661	0,656	0,652	0,649
65	712	703	696	689	684	680	676	673	667	663	660
66	727	717	709	703	697	692	688	685	679	675	672
67	742	731	773	716	710	705	701	697	691	686	683
68	757	746	737	729	723	718	713	709	703	689	694
0,69	0,772	0,761	0,751	0,743	0,737	0,731	0,726	0,722	0,715	0,710	0,706
70	787	776	766	757	750	744	739	735	727	722	717
71	804	791	781	772	764	758	752	748	740	734	729
72	820	807	796	786	779	772	766	761	752	746	741
73	837	823	811	802	793	786	780	774	765	759	753
0,74	0,854	0,840	0,827	0,817	0,808	0,800	0,794	0,788	0,779	0,771	0,766
75	872	857	844	833	823	815	808	802	792	784	778
76	890	874	861	849	839	830	823	817	806	798	791
77	909	892	878	866	855	846	838	831	820	811	804
78	929	911	896	883	872	862	854	847	834	825	817
0,79	0,949	0,930	0,914	0,901	0,889	0,879	0,870	0,862	0,849	0,839	0,831
80	970	950	934	919	907	896	887	878	865	854	845
81	992	971	954	938	925	914	904	895	881	869	860
82	1,015	993	974	958	945	932	922	913	897	885	857
83	039	1,016	996	979	965	952	940	931	914	901	890
0,84	1,064	1,040	1,019	1,001	0,985	0,972	0,960	0,949	0,932	0,918	0,906
85	091	065	043	024	1,007	993	980	960	950	935	923
86	119	092	068	048	031	1,015	1,002	990	970	954	940
87	149	120	095	074	055	039	025	1,012	990	933	959
88	181	151	124	101	081	064	049	035	1,012	994	978

Tabla B.2 Curvas de remanso – método de Bakhmeteff - Valores de B(η) (Continuación)

η < 1											
η	**N=2,80**	**n=3,00**	**N=3,20**	**n=3,40**	**n=3,60**	**n=3,80**	**n=4,00**	**n=4,20**	**n=4,40**	**n=5,00**	**n=5,40**
0,88	1,181	1,151	1,124	1,101	1,081	1,064	1,049	1,035	1,012	0,994	0,978
0,89	1,216	1,183	1,155	1,131	1,110	1,091	1,075	1,060	1,035	1,015	0,999
90	253	218	189	163	140	120	103	087	060	039	1,021
91	294	257	225	197	173	152	133	116	088	064	045
92	340	300	266	236	210	187	166	148	1,17	092	072
93	391	348	311	279	251	226	204	184	1,51	123	1,01
0,94	1,449	1,403	1,363	1,328	1,297	1,270	1,246	1,225	1,188	1,158	1,134
95	518	467	423	385	352	322	296	272	232	199	172
96	601	545	497	454	417	385	355	329	285	248	217
97	707	644	590	543	501	464	431	402	351	310	275
0,975	773	707	649	598	554	514	479	407	393	348	311
0,980	1,855	1,783	1,720	1,666	1,617	1,577	1,536	1,502	1,443	1,395	1,354
985	559	880	812	752	689	652	610	573	508	454	409
990	2,106	2,17	940	873	814	761	714	671	598	537	487
995	355	150	2,195	2,079	2,008	295	889	838	751	687	617
999	931	788	663	554	457	2,370	2,293	2,223	2,102	2,002	917

Tabla B.3 Valores del exponente hidráulico η

h Altura de agua
l Longitud del fondo en secciones trapezoidales
D Diámetro, en secciones circulares

h/l ó h/Δ	**Forma de la sección**						
	Rectangular	**Trapezoidal con taludes inclinados (horz./vert.) de**					**Circular**
		1/2	**1/1**	**1,5/1**	**2/1**	**2,5/1**	**3/1**	
0,000 – 0,020	3,4							4,3
0,02 – 0,03	3,4	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,3
0,03 – 0,04	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,3
0,04 – 0,05	3,2	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,3
0,05 – 0,06	3,2	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,3
0,06 – 0,08	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5	4,2
0,08 – 0,10	3,1	3,3	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5	
0,10 – 0,15	3,0	3,3	3,4	3,5	3,6	3,6	3,6	4,2 4,2
0,15 – 0,20	2,9	3,3	3,4	3,6	3,7	3,7	3,7	4,0
0,2 – 0,3	2,8	3,3	3,5	3,7	3,8	3,8	3,8	3,8
0,3 – 0,4	2,8	3,3	3,5	3,8	3,9	3,9	3,9	3,6
0,4 – 0,5	2,8	3,3	3,6	3,9	4,0	4,0	4,0	3,3
0,5 – 0,6	2,7	3,3	3,7	4,0	4,1	4,1	4,1	(1)
0,6 – 0,8	2,6	3,4	3,8	4,1	4,2	4,2	4,2	
0,8 – 1,0	2,5	3,4	3,9	4,3	4,4	4,4	4,4	
1,0 – 1,5	2,4	3,6	4,2	4,4	4,6	4,6	4,6	
1,5 – 2,0	2,3	3,9	4,4	4,6	4,8	4,8	4,8	
2 – 3	2,2	4,1	4,5	4,7	5,0	5,0	5,0	
3 – 4	2,2	4,4	4,6	4,9	5,2	5,2	5,2	
4 – 5	2,2	4,5	4,7	5,0	5,4	5,4	5,4	
5 – 6	2,2	4,5	4,8					
6 – 8	2,2	4,6	4,9					
8 – 10	2,2	4,7	5,0					

ANEXO C
REDUCCIÓN DE CAUDALES POR ENVEJECIMIENTO DE TUBERÍAS

(1) La reducción de caudales por envejecimiento de tuberías se determina utilizando la **Figura C.1,** en los siguientes casos

1: Casos extremos de aguas poco agresivas. Pequeños nódulos.

2: Agua filtrada no aireada y prácticamente no corrosiva. Leve incrustación general.

3: Agua de pozo o agua dura con pequeña acción corrosiva. Mayores incrustaciones, con nódulos hasta cerca de 12 mm de altura.

4: Agua de regiones pantanosas con vestigios de hierro y con materia orgánica levemente ácida. Grandes incrustaciones, hasta cerca de 25 mm de altura.

5: Agua ácida de rocas graníticas, incrustaciones excesivas y tuberculizaciones.

6: Agua extremadamente corrosiva, pequeños conductos para agua dulce, levemente ácida.

7: Casos extremos de aguas muy agresivas.

ANEXO D
GOLPE DE ARIETE (Figura D.1)

D.1 Simbología, unidades y fórmulas

(1) Sistema de unidades técnico métrico (m, kgf, s) y la frecuencia en r.p.m.

(2) El sub índice “o” indica variables del proyecto

(3) H: Carga manométrica

(4) Q: Caudal

(5) n: Frecuencia

(6) M: Momento aplicado al rotor de la bomba

(7) $\frac{G * D^2}{4 * g}$: Momento polar de inercia de las piezas que giran en el interior de la bomba

(8) C_o: Velocidad media del agua en la canalización con todas las bombas en operación normal

$$C_o = \frac{\sum L_i * C_i}{\sum L_i}$$

(9) L_i: Longitud de cada tramo de la aducción de diámetro uniforme

(10) L: Longitud total de la aducción ($= \sum L_i$)

(11) C_i: Velocidad media en los tramos de la canalización

(12) ΔC: Variación de la velocidad ($\approx (\frac{g}{a}) \Delta h$, en particular $\Delta C_o = (\frac{g}{a}) H_o$)

(13) a: Velocidad de propagación de la onda de Presión (véase **Anexo E**)

(14) T_a: Tiempo de arranque de una bomba

$$T_a = 0{,}00267 \frac{G * D^2 * n_o}{M_o}$$

(15) T_r: Tiempo de reflexión (tiempo que una onda de presión necesita para recorrer, ida y vuelta, la tubería de impulsión)

$$T_r = \frac{2 * L}{a}$$

(16) K_p: Constante de la bomba

$$K_p = \frac{1}{2 * T_a}$$

(17) K_L: Constante de canalización

$$K_L = \frac{C_o}{\Delta C_o}$$

(18) e: Distancia a la sección E de la aducción, calculada a partir del tanque superior

(19) E: Sección genérica de la canalización

(20) P: Sección a la salida de las bombas

(21) $\left(\frac{\Delta H^-}{H_o}\right)_P$ Máxima caída de presión, en la sección P, ocasionada por la primera onda de presión en el instante $\Delta t_p = T_r$

$$\left(\frac{\Delta H^-}{H_o}\right)_P = F_{1P} * K_L$$

Donde: F_{1P} es obtenido de la **Figura D.2** en función de $K_P \Delta_{tP}$ y K_L, siendo $\Delta t_P = T_r$

(22) $\left(\frac{\Delta H^-}{H_o}\right)_E$ Máxima caída de presión, en la sección E, ocasionada por la primera onda de presión $t = \frac{L + e}{e}$

$$\left(\frac{\Delta H^-}{H_o}\right)_E = F_{1E} * K_L$$

Donde: F_{1E} es obtenido de la **Figura D.2** en función de K_P, Δt_E y K_L, siendo $K_P \Delta t_E = 2 * e/a$

(23) $\left(\frac{\Delta H^- max}{H_o}\right)_{P,E}$ Son los valores máximos de caída de presión en P o E

$$\left(\frac{\Delta H^- max}{H_o}\right)_{P,E} = F_2 * \left(\frac{\Delta H^-}{H_o}\right)_{P,E} = F_2 * F_{1P,E} * K_L$$

Donde: F_2 es obtenido de la **Figura D.3** en función de Kp T_r y K_L,

(24) $\left(\frac{\Delta H^{+}\ max}{H_o}\right)_{P,E}$ Son los valores máximos de caída de presión en P o E

$$\left(\frac{\Delta H^{+}\ max}{H_o}\right)_{P,E} = F_3 * \left(\frac{\Delta H^{-}\ max}{H_o}\right)_{P,E} = F_2 * F_3 * F_{1P,E} * K_L$$

Donde: F_3 es obtenido de la **Figura D.4** en función de K_p T_r y K_L,

(25) Z_g: Altura geométrica de impulsión

(26) $(\Delta H^{-}\ max)_{P,E}$: Es la máxima caída de presión en las secciones P o E

$$(\Delta H^{-}\ max)_{P,E} = -\left(\frac{\Delta H^{-}\ max}{H_o}\right)_{P,E} * H_o + (Z_g)_{P,E}$$

(27) $(\Delta H^{+}\ max)_{P,E}$: Es la máxima elevación de presión en las secciones P o E

$$(\Delta H^{+}\ max)_{P,E} = \left(\frac{\Delta H^{+}\ max}{H_o}\right)_{P,E} * H_o + (Z_g)_{P,E}$$

ANEXO E
VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE PRESIÓN

(1) La velocidad de propagación de la onda de presión, puede ser evaluada por la siguiente ecuación:

$$a = \frac{(K/\rho)^{1/2}}{\left[1 + \frac{K * (D * c)}{E\ e}\right]^{1/2}}$$

Donde: K = Módulo de elasticidad volumétrico del agua (aprox. = $2{,}10*10^8$ kgf/m^2)
E = Módulo de elasticidad del material del que está fabricada la tubería, siendo para:

Asbesto cemento	E = $0{,}30*10^{10}$ kgf/m^2
Acero	E = $2{,}10*10^{10}$ kgf/m^2
Hormigón	E = $0{,}20*10^{10}$ kgf/m^2
Fierro fundido	E = $1{,}20*10^{10}$ kgf/m^2
Fierro fundido nodular	E = $1{,}70*10^{10}$ kgf/m^2
Poliéster	E = $0{,}18*10^{10}$ kgf/m^2

ρ = Masa específica del agua (aprox. = 102 $\frac{\text{kgf-s}^2}{\text{m}^4}$)

e = Espesor de la pared del tubo

D = Diámetro interno del tubo

c = 5/4 - μ (Conducto anclado contra el movimiento longitudinal en la extremidad superior y libre en la inferior)

c = 1 - μ^2 (Conducto anclado, sin movimiento longitudinal en toda su extensión)

c = 1 - μ/ (Conducto con junta de dilatación entre anclajes a lo largo de toda su extensión)

μ = Coeficiente de Poisson (aprox. = 0,30)

ANEXO F
CALCULO DE LA PRESIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA EN LA SALIDA DE BOMBAS, EQUIPADAS CON VÁLVULAS DE RETENCIÓN, CUANDO OCURRE INTERRUPCIÓN DE ENERGIA ELECTRICA. VERIFICACIÓN DE LA OCURRENCIA DE FENÓMENO DE ROTURA DE COLUMNA

F.1 CASO 1: PÉRDIDA DE CARGA INFERIOR AL 5% DE LA CARGA MANOMÉTRICA INICIAL

(1) Representar la curva característica de la bomba H_m (N, Q) por una ecuación del tipo:

$$H_m(N_o, Q_{bo}) = AN_o^2 + BN_oQ_{bo} + CQbo^2$$

Donde:
- H_m Altura manométrica de la bomba
- N_o Frecuencia del rotor en rps
- Q_{bo} Caudal de la bomba en el instante $T \leq 0$

(2) Calcular DT = L/a

Donde:
- L Longitud de la tubería de impulsión
- a Velocidad calculada según el **Anexo E**

(3) En cuanto el caudal de la bomba en el instante T, fuera tal que $Q_{b(T)} > 0$, ejecutar los siguientes cálculos para cada instante T = 0, 2 * DT, 4 * DT, ...

a)

$$\frac{N}{N_{(T)}} = 1 + \left(\frac{W_o * g}{\omega_o^2 * I^*}\right) T, \text{ con } I^* = G * r^2$$

Donde:
- $N_{(T)}$ Frecuencia del rotor en rps en el instante T
- W_o Potencia transmitida al eje de la bomba en el instante T = 0
- ω_o Velocidad angular de la bomba en el instante T = 0
- I* Momento polar de inercia de grupo motor-bomba en kgf * m^2
- g Aceleración de la gravedad
- r Radio de giro
- G Peso de la masa giratoria

b)

$$\pi_{(s,T)} = 2 * \alpha_{(s)} * Z_G - [\alpha_{(s)} * H_{(s,T - 2 * DT)} + n * Q_{b(T - 2*DT)}]$$

Donde:
- $H_{(s,T-2 * DT)}$ Carga piezométrica en la sección s-s de la salida de la bomba en el instante T-2 * DT

c)

$$Q_{b(T)} = \frac{1}{2 * C}\left(BN_{(T)} \frac{n}{\alpha_{(s)}} \right) + \frac{1}{2}\left[\frac{1}{C^2}\left(BN_{(T)} \frac{n}{\alpha_{(s)}} \right)^2 - \frac{4}{C}\left(AN^2_{(T)} + H_E - \frac{\xi\,(s,T)}{\alpha_{(s)}} \right)\right]^{1/2}$$

d)

$$H_{(s,T)} = \frac{\xi_{(s,T)} + n * Q_{b(T)}}{\alpha_{(s)}}$$

Donde: Véase **Figura F.1**

$Q_{b(T)}$ Caudal de la bomba en el instante T
n Número de bombas en paralelo
$\alpha_{(s)}$ $g * S_{(s)} / a$
$S_{(s)}$ Área de la sección transversal de la tubería de impulsión en la salida s-s de los n grupos motor-bomba
Z_G Diferencia de cota de los niveles superior e inferior
$H_{(s,T)}$ Carga piezométrica en la salida s-s de los n grupos motor-bomba en el instante T

(4) Cuando $Qb_{(T)} \leq 0$, hacer $Q_{b(T)} = 0$ y el cálculo es desarrollado para los instantes siguientes con las ecuaciones 1.3. b y 1.3.d

F.2 CASO 2: CON PÉRDIDA DE CARGA SUPERIOR AL 5% DE LA CARGA MANOMÉTRICA INICIAL

2.1 Cálculos preliminares

a) Ecuación de la curva característica de la bomba, de tipo (identico al numeral 1.1):

$$H_m\,(N_o, Q_{bo}) = AN_o^2 + BN_oQ_{bo} + CQ_{bo}^2$$

b) Tiempo de recorrido de la onda de presión, desde las bombas hasta la extremidad de aguas debajo de la aducción.

$$DT = \frac{L}{a}$$ (Identico al numeral 1.2)

c) Constantes:

$\alpha = g * S/a$ (Identico al numeral 1.3d)
$f = 2gS^2D * \Delta H/(LQ_0^2)$
$\beta = fDT/(2SD)$

2.2 Formulario

a)

$$Q_{(R,T - DT)} = \alpha_{(s)}\left[H_{(s,T - 2DT)} - Z\right] + \left[1 - nfDT / 2SD\left|Q_{b(T - 2DT)}\right|\right] n\, Q_{b(T - 2DT)}$$

b)

$$\pi_{(s,T)} = 2\alpha_{(s)} Z - \left[\alpha_{(s)} H_{(s,T - 2DT)} + n\, Q_{b(T - 2DT)}\right]$$

$$+fDT/2SD \left[\left|Q_{(R,T - DT)}\right| Q_{(R,T - DT)} + n^2 \left|Q_{b(T - DT)}\right| Q_{b(T - 2DT)}\right]$$

c) Identico al numeral 1.3.a
d) Identico al numeral 1.3.c
e) Identico al numeral 1.3.d

Nota: Cuando resultara Qb(T) ≤ 0, adoptar en las fórmulas arriba indicadas Qb(T) = 0

Las nuevas variables que aparecen en este caso 2, admiten los siguientes significados:

Donde :	f	Coeficiente de perdida de carga distribuida
	D	Diámetro de la aducción
	Q_o	Caudal en la sección de la aducción en T ≤ 0
	ΔH	Pérdida de carga en la aducción de impulsión en T ≤ 0
	$Q_{(R,T-DT)}$	Caudal en la sección extrema de aguas debajo de la aducción en el instante T-DT

ANEXO G
PROCEDIMIENTO DE ALLIEVI PARA EL CÁLCULO DEL GOLPE DE ARIETE EN ADUCCIONES POR GRAVEDAD

G.1 CASO DE CIERRE DE VÁLVULAS

1.1 Variables.

Las variables utilizadas para obedecer la máxima presión debida al golpe de ariete cuando se cierra una válvula, con cualquier velocidad uniforme, se obtendrán de la **Figura. G.1**

1.1.1 Características de la tubería.

$$\rho = \frac{a * V_o}{2g * H_o}$$

Donde:
- g — Aceleración de la gravedad (9,81 m/s^2)
- H_o — Altura geométrica entre el extremo inferior de la tubería (en metros) y el nivel de agua en el reservorio en la extremidad de montante de la tubería.
- a — Velocidad de propagación dela onda de presión (ver Anexo E)
- V_0 — Velocidad media en la sección de la tubería antes del inicio de la maniobra de cierre de válvula

1.1.2. Tiempo de cierre de válvula

$$\theta = \frac{a * T}{2L} = \frac{T}{\mu}$$

Donde:
- L — Es la longitud de la canalización
- μ — Es el tiempo crítico, y es, el tiempo necesario para que una onda de presión pueda recorrer la tubería en una ida y una vuelta (2L/a)

1.1.3. Tiempo S

Es el tiempo medido en unidades μ, que transcurre desde el inicio de las maniobras de cierre de válvula hasta el instante en que se produce la máxima presión. Estas curvas indican si un cierre parcial puede producir o no un mayor golpe de ariete que el de aquel que se presentaría al final del cierre, siendo éste completo.

1.1.4 Variable ξ_2

Es la relación entre la presión máxima debida al golpe en la extremidad inferior de aguas abajo y la presión estática debida a la altura geométrica H_o:

$$\xi^2 = \frac{(H_0 + h)}{h}$$

Donde: h sobre elevación de presión en m.c.a.

1.2 Procedimiento

1.2.1 Cálculo del tiempo mínimo de maniobra T para que la sobre elevación de presión "h"no sobre pase un valor dado

Se calcula el valor de ξ^2 y la constante de la tubería ρ^2. De la **Figura G.1** se obtiene, en función de este par de valores, el tiempo S y

$$\theta = \theta (\xi^2 , \rho)$$

Con "L" y "a" conocidos se tendrá el tiempo buscado "T"

$$T = (2L/a) * \theta$$

Nota: Para el caso de cierre parcial en la fórmula $\theta = T/\mu$ debe ser tomado como el tiempo necesario para cerrar la válvula completamente con la misma velocidad de cierre parcial. Si hasta entonces, el valor leído de S en términos de μ da un tiempo menor para producirse la máxima presión que el tiempo real de maniobra en términos de μ, la misma máxima presión debe ser alcanzada si el cierre fuese parcial. Si el tiempo de cierre es menor que el indicado por S, la máxima presión dada por la **Figura G.1** no será alcanzada para este cierre parcial.

1.2.2 Cálculo de la máxima presión para un tiempo dado de cierre.

Con la característica ρ de la tubería y el tiempo $\theta = T/\mu$, se obtiene de la **Figura G.1** el valor de ξ^2 con lo que se evalúa el valor de h.

G.2 CASO DE ABERTURA

El diagrama de la **Figura G.2** pone en evidencia las variables a ser utilizadas para la evaluación del efecto del golpe de ariete en caso de abertura de la válvula. Estas variables son las mismas indicadas anteriormente.

Reglamento Nacional NB 689

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

REGLAMENTO TÉCNICO
BEO PARA
SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Segunda revisión

Diciembre 2004

ÍNDICE

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES 215
1.1 OBJETO 215
1.2 CAMPO DE APLICACIÓN 215
1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO 215

CAPÍTULO 2
ESTACIONES DE BOMBEO 216
2.1 DEFINICIÓN 216
2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO 216
2.3 ELEMENTOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO 217
2.4 UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN ELEVADORA 217
2.5 CAPACIDAD DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO 217
2.5.1 Determinación del caudal de proyecto 217
2.5.2 Número de horas de bombeo 218
2.5.3 Tuberías de distribución 218
2.6 CRITERIOS DE DISEÑO 219
2.6.1 Carga neta positiva de succión (CNPS) 219
2.6.2 Sumergencia mínima 221
2.7 DISEÑO DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO 221
2.7.1 Altura manométrica total 221
2.7.2 Potencia del equipo de bombeo 222
2.7.3 Selección de la bomba de agua 223
2.7.3.1 Condiciones generales 223
2.7.3.2 Tipo de bomba 223
2.7.3.3 Características electromecánicas de las bombas 224
2.7.4 Número de bombas a instalar 225
2.7.5 Cámara de bombeo 226
2.7.6 Caseta de bombeo 229
2.7.6.1 Dimensionamiento 229
2.7.6.2 Otras consideraciones 230
2.8 TUBERÍAS Y ACCESORIOS DE SUCCIÓN Y DE IMPULSIÓN 230
2.8.1 Dimensionamiento 230
2.8.2 Disposición 232
2.8.2.1 Elementos adyacentes a la bomba 233
2.8.2.2 Tuberías internas 233
2.8.2.3 Registros y válvulas 233
2.8.3 Otras consideraciones de diseño. 234
2.8.3.1 Tuberías y accesorios de succión 234
2.8.3.2 Tuberías de impulsión 235
2.9 ESTUDIO DE LOS EFECTOS TRANSIENTES HIDRÁULICOS Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA 236
2.10 FUENTE DE ENERGÍA 236
2.10.1 Generador de emergencia 236
2.11 SISTEMAS DE MEDICIÓN, OPERACIÓN Y CONTROL 236
2.11.1 Sistema de medición 236
2.11.2 Sistema de operación y control 237
2.12 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MOVIMIENTO Y SERVICIO 237
2.13 PROYECTOS COMPLEMENTARIOS 237

2.13.1 Iluminación.....237
2.13.2 Ventilación y acústica.....237
2.13.3 Instalaciones hidráulicas sanitarias.....238
2.13.4 Sistema de aguas de servicio.....238
2.13.5 Sistema de combate de incendios.....238
2.13.6 Acceso y escaleras.....238
2.13.7 Protección contra rayos.....238

ANEXOS

ANEXO "A"
FIGURAS - ESTACIONES DE BOMBEO.....239

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presión atmosférica.....219
Tabla 2. Densidad y presión de vapor del agua.....220
Tabla 3. Tipos de bombas eléctricas recomendadas por tipo de fuente.....224
Tabla 4. Velocidades máximas en tuberías de succión.....231
Tabla 5. Velocidad mínima en tuberías de succión.....231
Tabla 6. Valores aproximados de k (pérdidas de carga locales).....232

PARTICIPANTES

Las Instituciones y profesionales que participaron en la revisión y actualización del presente Reglamento fueron los siguientes:

Alvaro Camacho	Director General de Servicios Básicos VSB
Alcides Franco	Director de Area de Normas y Tecnología VSB
Marco Quiroga	Coordinador General PROAT
Reynaldo Villalba	VSB
Enrique Torrico	VSB
Susana Jaramillo	VSB
Marco Reyes	FPS La Paz
Ramiro Plaza	FPS Santa Cruz
Marco Ocampo	UNASBVI Potosí
Juan Carlos Guzmán	HAM Cochabamba
Carlos Guardia	SEMAPA
José Díaz	IIS-UMSA
Gregorio Carvajal	IIS-UMSA
Juan Carlos Holters	ABIS Santa Cruz
Oscar Álvarez	Consultor independiente

ELABORACIÓN
AGUILAR & ASOCIADOS S.R.L.

Humberto Cáceres	Gerente de Saneamiento Básico
Carlos España	Consultor
Grover Rivera	Consultor
Iván Alvarez	Diseño Gráfico

FINANCIADOR
Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Asdi)

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES

1.1 OBJETO

(1) El presente Reglamento tiene por objeto fijar parámetros, establecer criterios técnicos y condiciones mínimas que se deben cumplir en el diseño de estaciones de bombeo, que se utilizan para sistemas de agua potable.

1.2 CAMPO DE APLICACIÓN

(2) Este Reglamento se aplica a nivel nacional para el diseño, ejecución o control de sistemas de agua potable públicos y/o privados.

(3) Es obligatorio el conocimiento y aplicación del Reglamento Técnico de Diseño de Estaciones de Bombeo, por el proyectista, ejecutor, supervisor y fiscalizador de la obra. Sin embargo, se podrán aplicar criterios de diseño, constructivos y métodos de control no especificados en el presente reglamento toda vez que se justifiquen técnicamente ante la Autoridad Competente.

1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

(1) La elaboración del proyecto de estaciones de bombeo comprende las siguientes actividades:

a) Obtener los datos y estudios básicos de diseño.
b) Seleccionar el tipo de bombeo.
c) Definir la ubicación de la estación de bombeo.
d) Establecer la capacidad de la estación de bombeo.
e) Establecer la fuente de energía.
f) Establecer los criterios de diseño.
g) Diseñar los componentes de la estación de bombeo.
h) Dimensionar las tuberías de succión e impulsión y calcular las pérdidas de carga.
i) Determinar la potencia y la capacidad del equipo de bombeo.
j) Seleccionar el equipo de bombeo.
k) Determinar el número de bombas.
l) Dimensionar la cámara de bombeo.
m) Diseño de la caseta de bombeo.
n) Considerar otros aspectos de diseño.
o) Desarrollar la forma de operación y mantenimiento.
p) Considerar instalaciones complementarias.

CAPÍTULO 2
ESTACIONES DE BOMBEO

2.1 DEFINICIÓN

(1) Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, dispositivos, tuberías, accesorios, motores y bombas que permiten elevar el agua de un nivel inferior a otro superior.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO

(1) Las estaciones de bombeo pueden ser:

a) Fijas, cuando la bomba se localiza en un punto estable y no es cambiada de posición durante su período de vida. (véase **Figura A.4** de **Anexo A** del Reglamento Técnico de Obras de Captación para Sistemas de Agua Potable).

b) Flotantes, cuando los elementos de bombeo se localizan sobre una plataforma flotante. Se emplea sobre cuerpos de agua que sufren cambios significativos de nivel. (véase **Figura A.5** de **Anexo A** del Reglamento Técnico de Obras de Captación para Sistemas de Agua Potable).

c) Móviles, cuando las bombas son localizadas sobre soportes o plataformas que permiten su cambio de posición accionadas por elementos motrices. (véase **Figura A.1** de **Anexo A**)

2.3 ELEMENTOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

(1) Una estación de bombeo (véase **Figura A.2** de **Anexo A**) puede estar constituida por diferentes componentes, los mismos que pueden variar, dependiendo de las condiciones particulares de cada proyecto.

a) Caseta de bombeo, construcción civil que aloja las partes del sistema de bombeo, tableros de control o generadores de energía.
b) Cámara de bombeo, constituye el depósito que aloja los dispositivos de succión o la bomba sumergible.
c) Tubería de succión, si la bomba no es sumergible.
d) Bombas, las bombas podrán ser sumergibles o no sumergibles.
e) Válvulas de regulación y control, instaladas antes de la bomba, cuando ésta no sea sumergible,y después de cualquier tipo de bomba para evitar golpes de ariete, permitir la purga de todos en línea y el mantenimiento de los equipos.
f) Interruptores de máximo y mínimo nivel, consisten en dispositivos para la determinación del nivel de agua. Permiten encender o cortar el bombeo.
g) Tableros de protección y control eléctrico, son lugares donde se alojan los dispositivos eléctricos que permiten la operación, control y protección de los equipos de bombeo.
h) Equipo de montaje y mantenimiento, se emplean para el mantenimiento y refacción de la bomba y/o las tuberías.
i) Equipo para comunicaciones, en caso de inaccesibilidad al lugar o por la importancia de la obra.

j) Sistema de ventilación, podrá ser natural o forzada (artificial) la primera se logra construyendo celosías o ventanas en las paredes de la caseta de bombeo y la segunda mediante equipos de ventilación eléctricos.
k) Instalaciones para personal de operación, cuando se crea conveniente deberá preverse los espacios necesarios para albergar personal.
l) Cerco de protección, para dar protección a la caseta de bombeo y sus partes.

(2) En el proyecto de estaciones de bombeo de agua para abastecimiento público, se debe considerar lo siguiente:

a) La concepción básica del sistema de abastecimiento.
b) El inventario de las instalaciones existentes, si las hubiese.
c) Una relación de las características hidráulicas y morfológicas del sistema en el que la estación de bombeo de agua estuviera incorporado.
d) Las características físico-químicas del agua a ser bombeada.

2.4 UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN ELEVADORA

(1) En la selección del sitio para la estación de bombeo, se deben considerar los siguientes aspectos:

a) Fácil acceso en las etapas de construcción, operación y mantenimiento.
b) Protección de la calidad del agua de fuentes de contaminación.
c) Nivel de crecidas y/o áreas de inundación.
d) Eficiencia hidráulica del sistema de impulsión o distribución.
e) Peligro de interrupción del servicio por incendio, inundación u otros factores.
f) Disponibilidad de energía eléctrica, de combustión u otro tipo.
g) Topografía del terreno.
h) Características de los suelos.

2.5 CAPACIDAD DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

2.5.1 Determinación del caudal de proyecto

(1) Los caudales deben ser determinados a partir de la concepción básica del sistema de abastecimiento, de las etapas para la implementación de las obras y del régimen de operación previsto para las estaciones elevadoras.

(2) El caudal de bombeo debe ser definido en función de la fuente.

(3) Se deben considerar los siguientes criterios:

a) Cuando el sistema de abastecimiento de agua incluye tanque de almacenamiento posterior a la estación de bombeo la capacidad de la tubería de succión (si corresponde), equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo.

$$Q_b = Q_{max.d} * \frac{24}{N}$$

Donde:	Q_b	Caudal de bombeo en l/s
	$Q_{max.d}$	Caudal máximo diario en l/s
	N	Número de horas de bombeo

b) Cuando el sistema de abastecimiento de agua no incluye tanque de almacenamiento posterior a la estación de bombeo la capacidad de la tubería de impulsión y equipo de bombeo debe ser calculada con base al caudal máximo horario y las pérdidas en la red de distribución.

2.5.2 Número de horas de bombeo

(1) El número de horas de bombeo y el número de arranques en un día, dependen de los siguientes factores:

a) Rendimiento de la fuente.
b) Consumo de agua.
c) Disponibilidad de energía.
d) Costo.

(2) Por razones económicas y operativas, se aconseja que el período de bombeo en un día sea menor a 12 horas, que podrán ser distribuidas en una o más operaciones (arranques) de bombeo diarios.

(3) Deben realizarse los cálculos necesarios para determinar las variaciones de consumo y volúmenes de bombeo para los años 5, 10, 15 y 20 del período de diseño del proyecto.

2.5.3 Tuberías de distribución

(1) Si el bombeo es directo a la red de distribución, las tuberías de distribución deben calcularse con base en el caudal máximo horario, proveyéndose la disposición de dos o más unidades de bombeo para funcionamiento en paralelo.

(2) Si el bombeo se realiza a un tanque de almacenamiento, o a través de la red, la tubería de distribución debe calcularse con base en el caudal máximo diario, a las horas de bombeo y a la curva de consumos probables.

(4) Los sistemas de distribución directos de la estación de bombeo a la red de distribución solo serán considerados si:

a) La calidad del agua es potable.
b) Se dispone de un generador eléctrico para casos de emergencias.
c) Se implementa un sistema de desinfección.

2.6 CRITERIOS DE DISEÑO

2.6.1 Carga Neta Positiva de Succión (CNPS)

(1) La CNPS disponible y requerida son los parámetros de control de la cavitación.

(2) La cavitación se presenta cuando la presión en la succión está cercana a la presión de vapor del fluido y se caracteriza por la formación de espacios vacíos en puntos donde la presión desciende por debajo de la tensión de vapor del líquido bombeado y son llenados por la vaporización del mismo. Las burbujas de vapor así formadas son arrastradas por la corriente hacia zonas de mayor presión, donde al destruirse por condensación violenta, produce una marcha inestable de la bomba, con caída de caudal y de rendimiento, acompañado de ruidos y vibraciones. La súbita interrupción del líquido en los vacíos dejados por las burbujas de vapor al desaparecer en las zonas de mayor presión de la bomba, provoca un impacto (implosión) que origina la destrucción rápida de los materiales, arrancando partículas del mismo y produciendo el efecto de erosión.

(3) La CNPS disponible es función del diseño del bombeo y representa la diferencia entre la altura absoluta y la presión de vapor del líquido y se representa por:

$$CNPS_{disponible} = H_{atm} - (H_{vap} + H_s + \Delta H_s)$$

Donde:
- $CNPS_{disponible}$ Carga neta positiva de succión disponible
- H_{atm} Presión atmosférica en m (véase **Tabla 1**)
- H_{vap} Presión de vapor en m (véase **Tabla 2**)
- H_s Altura estática de succión en m
- ΔH_s Pérdida de carga por fricción de accesorios y tubería en m

Tabla 1. Presión atmosférica

Altura sobre el nivel del mar (m)	Presión atmosférica (m.c.a.)
0	10,3
500	9,7
1 000	9,1
1 500	8,6
2 000	8,1
2 500	7,6
3 000	7,1
3 500	6,7
4 000	6,3
4 500	5,9
5 000	5,5
5 500	5,2
6 000	4,9

4) La CNPS requerida es función del diseño de la bomba y viene dado por el fabricante. Es la carga exigida por la bomba para aspirar el fluido, representa la mínima diferencia requerida entre la presión de succión y la presión de vapor a una capacidad dada, sin que se corran riesgos de cavitación.

(5) Para evitar el riesgo de cavitación por presión de succión, se debe cumplir que:

$$CNPS_{disponible} > CNPS_{requerida}$$

(6) Otra de las causas de cavitación en bombas son las excesivas revoluciones del rotor. En este caso se debe verificar que la velocidad específica de operación no sobrepase la máxima dada por el fabricante.

(7) Entre los materiales que mejor resisten el ataque de cavitación se encuentran los aceros inoxidables

Tabla 2. Densidad y presión de vapor del agua

Temperatura (°C)	Densidad ((kg/m^3)	Presión de vapor H_{vap} (m)
0	999,90	0,06
5	1000,00	0,09
10	999,70	0,12
15	999,10	0,17
20	999,20	0,25
25	999,10	0,33
30	995,70	0,44
35	994,10	0,58
40	992,20	0,76
45	990,20	0,98
50	988,10	1,25
55	985,70	1,61
60	983,20	2,03
65	980,60	2,56
70	977,80	3,20
75	974,90	3,96
80	971,80	4,85
85	968,60	5,93
90	965,30	7,18
95	961,90	8,62
100	958,40	10,33

2.6.2 Sumergencia mínima

(1) Cuando se emplean bombas centrífugas de eje horizontal se debe verificar la sumergencia, esto es el desnivel entre el nivel mínimo de agua en el cárcamo y la parte superior del colador o criba.

(2) Se debe considerar el mayor valor que resulte de las siguientes alternativas:

a) Para impedir el ingreso de aire:

$$S = 2{,}5 * D + 0{,}10$$

b) Condición hidráulica:

$$S > 2{,}5 * \left(\frac{v^2}{2 * g}\right) + 0{,}20$$

Donde:
- S Sumergencia mínima en m
- D Diámetro en la tubería de succión en m
- v Velocidad del agua en m/s
- g Aceleración de la gravedad en m/s^2

2.7 DISEÑO DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO

(1) Para el diseño de las estaciones de bombeo se deben tomar encuenta:

2.7.1 Altura manométrica total

(1) Se deben considerar los siguientes casos:

a) Bombeo con bombas no sumergibles:

$$H_b = h_s + h_i + \Delta h_s + \Delta h_i$$

b) Bombeo con bombas sumergibles:

$$H_b = h_i + \Delta h_i$$

Donde:
- H_b Altura total de bombeo en m
- h_s Altura geométrica de succión en m
- h_i Altura geométrica de impulsión en m
- Δh_s Altura de pérdida de carga en la tubería de succión en m
- Δh_i Altura de pérdida de carga en la tubería de impulsión en m

(2) El proyectista por seguridad podrá incrementar la altura de pérdida de carga en las tuberías, en función a la edad de las mismas, considerar la altura de carga por velocidad ($v^2/2g$) y/o adoptar una altura de presión mínima de llegada.

c) Pérdida de carga longitudinal, por el rozamiento con las paredes de la tubería.

d) Pérdida de carga localizada, por el rozamiento con accesorios y válvulas.

e) Pérdida de carga por fricción, que debe ser calculada mediante la ecuación de Darcy Weisbach o Hazen Williams considerando la longitud de la tubería y la longitud equivalente para válvulas y accesorios, siguiendo lo especificado en el Reglamento Técnico de Diseño de Aducciones para Sistemas de Agua Potable.

f) Longitud equivalente, representa la pérdida por rozamiento que producen accesorios y válvulas instaladas en la tubería que equivalen o asemejan a la pérdida de carga en una tubería rectilínea.

g) Pérdida de carga localizada de cada accesorio o válvula tiene su longitud equivalente que depende del material, forma y diámetro. En la Tabla 14, del Reglamento Técnico de Diseño de Aducciones de Agua para Sistemas de Agua Potable, se presentan las longitudes equivalentes en accesorios y válvulas.

2.7.2 Potencia del equipo de bombeo

(1) La potencia de la bomba y el motor debe ser diseñada con la siguiente fórmula:

$$P_b = \frac{Q_b * H_b}{75 * \eta}$$

Donde:
- P_b Potencia de la bomba y el motor en CV (Prácticamente HP) 1 CV = 0,986 HP
- Q_b Caudal de bombeo en l/s
- H_b Altura manométrica total en m
- η Eficiencia del sistema de bombeo $\eta = \eta_{motor} * \eta_{bomba}$

(2) Debe consultarse al proveedor o fabricante, sobre las curvas características de cada bomba y motor para conocer sus capacidades y rendimientos reales.

(3) La bomba seleccionada debe impulsar el volumen de agua para la altura dinámica deseada, con una eficiencia mayor a 70%.

(4) Debe considerarse la tensión y los ciclos de energía eléctrica de la red pública, particularmente debe verificarse la capacidad de los transformadores.

2.7.3 Selección de la bomba de agua

(1) En la selección de las bombas se deben considerar los siguientes factores:

2.7.3.1 Condiciones generales

(1) Características del proyecto

a) Caudal de bombeo (diseño).
b) Altura manométrica.
c) Calidad del agua.
d) Tipo de energía (eléctrica, eólica, fotovoltaica, etc.).
e) Disponibilidad y tipo de combustible cuando se requiere de generador propio.
f) Disponibilidad de bombas en el mercado.
g) Etapas del proyecto.
h) Operación en serie o en paralelo.
i) Número de unidades.
j) Eje horizontal o vertical.
k) Normalización de equipos con los de otras estaciones elevadoras existentes.
l) Economía y facilidad de operación y mantenimiento, tomando en cuenta también las unidades en la montante y aguas abajo.

(2) Características de la bomba

a) Potencia.
b) Voltaje y amperaje necesarios.
c) Curvas características de comportamiento de la bomba (altura dinámica versus caudal, eficiencia versus caudal y potencia versus caudal).
d) La CNPS requerida por las bombas de modo que en todos los puntos de operación, la CNPS disponible, supere el requerido en un mínimo de 0,30 m.
e) Calidad del agua referida al pH, corrosión y abrasión (los impulsores y cuerpo de la bomba deberán resistir la calidad del agua a ser bombeada).
f) Tipo y material de los impulsores.
g) Dimensiones.
h) Los puntos de operación de las bombas en las diversas situaciones posibles deben estar situados en la faja de operación adecuada para aquella bomba específica.
i) Número de conjuntos de reserva compatible con las condiciones operacionales, con previsión de como mínimo un conjunto.

2.7.3.2 Tipo de bomba

(1) En la **Tabla 3** se presentan las posibles alternativas de empleo de bombas respecto al tipo de fuente.

Tabla 3. Tipos de bombas eléctricas recomendadas por tipo de fuente

Tipo de fuente	Tipo de bomba recomendado
Pozo profundo	Bomba centrífuga vertical, sumergible (cilíndrica, angosta) Bomba axial vertical sumergible (cilíndrica, angosta) Bomba neumática o jet
Pozo excavado y cámara de bombeo	Bomba centrífuga vertical sumergible Bomba axial vertical sumergible Si $h_s < 4$ m (h_s = altura de succión) - Bomba centrífuga horizontal, no sumergible - Bomba centrífuga vertical, no sumergible
Cuerpo de agua superficial	Bomba centrífuga vertical, sumergible (cuerpo chato) Bomba centrífuga horizontal (sobre plataforma flotante o móvil) Bomba axial horizontal (sobre plataforma flotante o móvil)

(2) Para la selección definitiva deben considerarse las condiciones locales de instalación de la bomba.

2.7.3.3 Características electromecánicas de las bombas

a) Materiales de construcción de las bombas

1) Los materiales de las bombas se seleccionarán en función de las propiedades del agua con la cual tendrán contacto.

2) Las características del agua a tomar en cuenta son:

i) Temperaturas (máximas y mínimas).
ii) Presión máxima.
iii) Conductividad.
iv) Corrosión.
v) Condiciones de cavitación (CNPS).
vi) Característica del material en suspensión que provoca la abrasión.

3) Los materiales comúnmente empleados son:

i) Hierro: tiene buena resistencia a la abrasión y presión, es empleado para los cuerpos, bases e impulsores de las bombas.
ii) Bronce: tiene una buena resistencia a la corrosión, pero muy poca a la abrasión.
iii) Acero: tiene buena resistencia a las temperaturas y presiones altas.

b) Características eléctricas de los motores de las bombas

a) Los motores eléctricos de las bombas funcionan con diferentes tensiones, corrientes y número de fases; éstos factores determinan la potencia efectiva de la bomba.

2) Los datos eléctricos deben ser proporcionados por el fabricante o importador.

c) Máquinas de potencia

1) En caso de no existir energía eléctrica y dependiendo de las condiciones locales y los costos de operación y mantenimiento se deben considerar:

i) Generadores a gasolina.
ii) Generadores a diesel (motores a diesel).
iii) Generadores a gas (turbinas).
iv) Generadores en base a paneles solares.
v) Turbinas eólicas.

2) Deben preferirse en general los motores eléctricos (CA) por su mejor rendimiento y costos bajos de operación y mantenimiento.

d) Posición e instalación de las bombas

1) Las bombas centrífugas corrientes pueden instalarse en pozo húmedo o pozo seco, en posición horizontal o vertical.

2) Las bombas de eje horizontal son instaladas con el grupo motor-bomba en pozo o ambiente seco, debiendo reducirse en lo posible la altura de succión.

3) En los pozos perforados, pueden emplearse las bombas tipo turbina (conjunto motor-bomba separado), o las de tipo sumergibles (conjunto motor-bomba compacto).

4) En los casos de captaciones de corrientes superficiales con grandes variaciones de nivel, se recomienda la instalación de tomas flotantes con bombas sumergibles del tipo compacto motor-bomba.

2.7.4 Número de bombas a instalar

(1) El número de bombas a instalar es función de:

a) Potencia del equipo de bombeo, establecida de acuerdo a 2.7.2

b) Población del proyecto

(2) Las unidades de bombeo se especificarán por lo menos para dos etapas, de acuerdo con la duración esperada de los equipos y el período total de diseño de la estación de bombeo.

(3) El número de unidades de bombeo a instalar debe proveerse de la siguiente manera:

a) Para poblaciones menores a 2 000 habitantes, puede utilizarse una sola unidad con una capacidad de bombeo suficiente para cubrir el 100% de la capacidad requerida más una de reserva de la misma capacidad que funcione alternadamente.

b) Para poblaciones de 2 000 a 5 000 habitantes debe utilizarse, previo análisis técnico-económico, una de las siguientes alternativas:

i) Una sola unidad con capacidad de bombeo mayor al 100% más una de reserva de la misma capacidad que funcione alternadamente o,
ii) Dos unidades con capacidad de bombeo mayor o igual al 50% cada una, más una de reserva de la misma capacidad que funcione alternadamente.

c) Para poblaciones de 5 000 a 20 000 habitantes se usarán dos equipos, cada uno con una capacidad de bombeo mayor o igual al 50% del total, más uno de reserva de la misma capacidad que funcione alternadamente. Cuando la fuente de energía para los equipos de bombeo sea eléctrica, se debe disponer además de un grupo electrógeno con capacidad para el 50% de los equipos de bombeo.

d) Para poblaciones de más de 20 000 habitantes se debe contar con un mínimo de tres unidades de bombeo, cada uno con capacidad de bombeo mayor o igual al 50% del total, más uno de reserva de la misma capacidad que funcione alternadamente. Cuando la fuente de energía para los equipos de bombeo sea eléctrica, se debe disponer además de un grupo electrógeno con capacidad para el 50% de los equipos de bombeo.

2.7.5 Cámara de bombeo

(1) Debe utilizarse cuando la instalación impulsora se encuentra en un sitio distinto a un pozo perforado o excavado.

(2) En el diseño de la cámara de una estación de bombeo deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Consideraciones generales

i) Caudal de bombeo, según lo indicado en 2.5.

ii) La entrada de agua a la cámara debe ser diseñada de modo que se eviten vórtices o turbulencias.

iii) En general deben evitarse los siguientes aspectos geométricos que pueden conducir a un mal diseño:

iii-1) Cambios bruscos en la dirección del flujo.
iii-2) Pozos rápidamente divergentes.
iii-3) Pendientes pronunciadas.
iii-4) Distribución asimétrica de flujo en el pozo.
iii-5) Entrada de agua al pozo por debajo del nivel de la tubería de succión

iv) Deben proveerse dispositivos de desagüe, rebose y limpieza del pozo.

v) En función de la calidad del agua y a fin de no dañar el funcionamiento de las bombas debe preverse, rejillas de protección y/o tanques desarenadores o de sedimentación, a ser dispuestos en forma previa a la propia estación.

b) Tipo de cámara de bombeo

i) Se debe emplear una cámara de bombeo con almacenamiento cuando el rendimiento de la fuente no sea suficiente para suministrar el caudal de bombeo.

ii) Se debe emplear una cámara de bombeo sin almacenamiento cuando la fuente de provisión de agua tenga una capacidad mayor o igual al caudal de bombeo.

c) Dimensionamiento de la cámara. El dimensionamiento de la cámara de bombeo con almacenamiento debe ser realizado utilizando:

i) Balance o diagrama de masas, considerando el caudal mínimo de la fuente de agua y el caudal de bombeo. El volumen de almacenamiento por bombeo se calcula sumando las dos ordenadas opuestas máximas durante el período de un día.

$$V_a = 0{,}01 * V_f * [(a) + (d)]$$

Donde: V_a Volumen de almacenamiento para bombeo en m^3
V^f Volumen diario acumulado de la fuente, determinado a partir del caudal de estiaje en m^3
(a) y (d) Son las ordenadas opuestas máximas para el período de un día de bombeo en %

ii) Considerando los períodos de no bombeo. El volumen de la cámara de bombeo podrá calcularse también considerando el volumen que se requiere para almacenar el caudal máximo diario, para el período mas largo de descanso de las bombas, mediante la siguiente relación:

$$V_a = Q_{max.d} * T$$

Donde: Va Volumen de almacenamiento para bombeo en m^3
Qmax.d Caudal máximo diario en m^3
T Tiempo más largo de descanso de las bombas en s.

d) Debe cuidarse de mantener el nivel de agua sobre la bomba o tubería de succión para evitar la generación de vórtices, de acuerdo a lo especificado en 2.6.3.

(3) En el dimensionamiento de la cámara de bombeo sin almacenamiento deben considerarse los siguientes criterios (véase **Figura A.3** de **Anexo A**):

a) La sumergencia mínima será fijada mayor a 1,5*d (d = diámetro de la tubería de succión) y no inferior a 0,50 m, véase también 2.6.3.

b) La holgura comprendida entre el fondo del pozo y la sección de entrada de la canalización de succión será fijada en un valor comprendido entre 0,5*d y 1,5*d.

c) En los pozos con deflectores la distancia entre el eje de la canalización y las paredes adyacentes será fijada como mínimo en 1,5*d.

d) En los pozos sin deflectores, la distancia entre el eje de la canalización y las paredes adyacentes laterales será como mínimo de 1,5*d y la distancia entre el eje de la canalización y la pared de fondo será del orden de 1,1*d a 1,2*d.

e) Cuando las bombas sean dispuestas ortogonalmente a la dirección de la corriente líquida, los cantos de las paredes que limitan cada bomba, formarán ángulos de 45° con relación a cada una de las paredes y los catetos serán fijados en 0,5*d para los pozos con deflectores y en 0,75 para los pozos sin deflectores.

f) Las cortinas que separan una bomba de otra, en un conjunto de bombas dispuestas ortogonalmente a la corriente líquida, tendrán una dimensión mayor a 3*d en la dirección de la corriente, a partir del eje de la canalización.

g) La forma de los bordes de ataque de las cortinas y de los deflectores será redondeada, permitiéndose la forma circular para las cortinas y la forma ovoidal para los deflectores.

h) El escurrimiento en la entrada del pozo será regular, sin dislocamientos y zonas de velocidades elevadas. La velocidad de aproximación del agua a la sección de entrada en la cámara de succión no excederá de 0,6 m/s.

(4) Sin perjuicio de las formas y dimensiones establecidas anteriormente, el pozo de succión y la cámara de succión deben contar con:

a) Holguras necesarias para el montaje y desmontaje de los equipos e instalaciones complementarias y circulación del personal de operación y mantenimiento.

b) Disponibilidad de espacio físico, cuando fuera el caso, para la instalación de las bombas sumergibles.

(5) Las cámaras de succión y los pozos de succión pueden presentar formas y dimensiones distintas de las recomendadas, siempre que fueran ampliamente justificados, en vista a las prescripciones establecidas en 2.7.5, parrafo 4.

a) En primera aproximación y como alternativa de las disposiciones, formas y dimensiones establecidas, la cámara de succión o el pozo de succión podrá tener la forma, y las dimensiones constantes establecidas en el **Anexo B** y la **Figura A.4** del **Anexo A**, siempre que sean reconocidas como aceptables por el fabricante de las bombas.

b) El proceso de dimensionamiento constante del **Anexo B**, es recomendado para pozos con una única bomba y es también recomendado para grupos de bombas, empero con las consideraciones adicionales siguientes: baja velocidad de aproximación, del orden de 0,30 m/s, y trayectorias rigurosamente rectilíneas a partir de la sección de entrada del pozo.

c) Las formas y dimensiones y los arreglos indicados en la **Figura A.4** del **Anexo A** deben ser adoptadas, siempre que se apliquen todas las restricciones, dimensiones mínimas y formas establecidas en 2.7.5, párrafo 3.

d) La concordancia entre los fondos del canal de llegada y del pozo, donde están situadas las canalizaciones de succión, no podrá ser hecha con bordes vivos. Cuando el fondo del canal se halla en cota superior a la del pozo, la concordancia debe ser hecha mediante plano inclinado con relación a la horizontal con un ángulo no superior a 45° (véase **Figura A.5** de **Anexo A**).

(6) No deben ser admitidas las forma y los arreglos indicados en la **Figura A. 6** de **Anexo A.**

2.7.6 Caseta de bombeo

2.7.6.1 Dimensionamiento

(1) El dimensionamiento de la caseta de bombeo debe ser adecuado para albergar el total de los equipos necesarios para la elevación del agua. Cuando fuese necesario, la caseta albergará los dispositivos de maniobra y desinfección.

(2) Debe permitir facilidad de movimientos, mantenimiento, montaje, desmontaje, entrada y salida de los equipos.

(3) El dimensionamiento de la caseta dependerá del tipo de bomba que se emplee. Los casos más comunes son:

a) Cuando se emplean bombas estacionarias no sumergibles: estarán albergadas en la caseta de bombeo, junto con los motores, generadores, tableros, circuitos y válvulas de accionamiento necesarias.

b) Cuando se empleen bombas sumergibles: la caseta de bombeo servirá para alojar los circuitos y tablero de control, eventualmente el generador y válvulas de accionamiento de la línea de impulsión.

(4) Las dimensiones de la sala de bombas deben permitir igualmente facilidad de movimiento, mantenimiento, montaje, desmontaje, entrada y salida de los equipamientos y además abrigar, cuando fuere el caso, los dispositivos de servicio para maniobra y movilización de las unidades instaladas.
Se debe considerar:

a) El espacio libre para la circulación en torno a cada bomba, debe preverse de preferencia con un valor mayor a 1.50 m, pero no menor a 1.0 m. En el caso de bombas de escurrimiento axial, la distancia mínima es de tres diámetros de la bomba.

b) Todos los accesos a la sala de bombas deben situarse a un mínimo de 1.0 m por encima de nivel máximo del pozo de succión, si fuera el caso.

c) Cuando la sobre elevación del piso de la sala de bombas fuera menor que 1.0 m con relación al nivel máximo de agua en el pozo de succión, el asentamiento de la misma debe ser hecho como para una instalación sujeta a inundación.

d) En el caso que el piso de la sala de bombas se localizase por debajo del nivel máximo de agua en el pozo de succión, deben ser previstas bombas de drenaje.

(5) La superficie de la sala de bombas debe ser establecida tomando en cuenta el tamaño del pozo de succión, y las dimensiones complementarias deben ser estudiadas a fin de posibilitar una buena distribución, minimizando la construcción civil.

(6) La disposición de los grupos moto-bombas, siendo éstas del tipo horizontal, debe obedecer, tanto como sea posible, las disposiciones en zig-zag o en diagonal (véase **Figura A.7** de **Anexo A**).

(7) Las bombas del tipo mixto deben ser dispuestas conforme se recomienda en el esquema de la **Figura A.8** de **Anexo A**.

(8) Las bombas verticales, de escurrimiento axial y mixto, deben ser dispuestas, en cuanto sea posible, según se indica en el esquema de la **Figura A.9** de **Anexo A**.

2.7.6.2 Otras consideraciones

(1) Existen variantes a las estaciones de bombeo convencionales, cuando se emplea generación de energía eléctrica, solar o eólica.

(2) Las estaciones con energía solar, requieren estructuras para el soporte de los paneles solares. Así también espacio protegido para los acumuladores y tableros de control.

(3) Las estaciones de bombeo eólicas requieren una estructura especial para soportar las hélices del rotor o turbina. Deberá preverse un espacio protegido para los acumuladores y tableros de control, cumpliendo las especificaciones del proveedor.

2.8 TUBERÍAS Y ACCESORIOS DE SUCCIÓN Y DE IMPULSIÓN

2.8.1 Dimensionamiento

(1) El dimensionamiento de las tuberías de succión y de impulsión debe ser realizada de acuerdo a lo establecido en 2.8.3 del presente reglamento, siguiendo los parámetros hidráulicos pre-establecidos y más aún observándose, salvo justificación, los siguientes criterios de velocidad:

a) En tuberías de succión, las velocidades no podrán exceder los valores presentados en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Velocidades máximas en tuberías de succión

Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
50	0,75
75	1,10
100	1,30
150	1,45
200	1,60
250	1,60
300	1,70
400 o mayor	1,80

b) En tuberías de succión, la velocidad mínima debe ser limitada a los valores presentados en la **Tabla 5**:

Tabla 5. Velocidad mínima en tuberías de succión

Tipo de material transportado	Velocidad (m/s)
Materia orgánica	0,30
Suspensiones finas (arcillas)	0,30
Arena fina	0,45

c) En el barrilete, la velocidad máxima admisible es de 2,6 m/s y la velocidad mínima es 0,60 m/s.

d) El cálculo de la pérdida de carga distribuida a lo largo de la tubería de succión, de colector y de barrilete, obedecerá al criterio general establecido en el “Reglamento Técnico de Diseño de Aducciones para Sistemas de Agua Potable”.

e) Para el cálculo de las pérdidas de carga localizadas en tuberías de succión o impulsión, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$h_s = K_s \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde:
- h_s Pérdida de carga en m
- K_s Coeficiente de pérdida de carga singular adimensional (véase **Tabla 6**)
- v Velocidad media en la sección en m/s
- g Aceleración de la gravedad en m/s^2

f) Para piezas o accesorios comunes, se utilizarán los coeficientes de pérdida de carga especificados en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Valores aproximados de k (pérdidas de carga locales)

PIEZA O ACCESORIO	K_S
Ampliación gradual	0,30*
Boquillas	2,75
Compuerta abierta	1,00
Controlador de caudal	2,50
Codo de 90°	0,90
Codo de 45°	0,40
Rejilla	0,75
Curva de 90°	0,40
Curva de 45°	0,20
Curva de 22°30’	0,10
Entrada normal en tubo	0,50
Entrada de borda	1,00
Existencia de pequeña derivación	0,03
Confluencia	0,40
Medidor Venturi	2,50**
Reducción gradual	0,15*
Válvula de ángulo abierta	5,00
Válvula compuerta abierta	0,20
Válvula tipo globo abierta	10,00
Salida de tubo	1,00
T, pasaje directo	0,60
T, salida de lado	1,30
T, salida bilateral	1,80
Válvula de pie	1,75
Válvula de retención	2,50

* Con base en la velocidad mayor (sección menor)

** Relativa a la velocidad en la tubería

Fuente: Manual de hidráulica, Azevedo Netto

2.8.2 Disposición

(1) La disposición de las tuberías internas y selección de los demás elementos hidráulicos complementarios, deben obedecer a las siguientes recomendaciones:

2.8.2.1 Elementos adyacentes a la bomba

(1) Cuando la bomba opera ahogada (bajo carga positiva), se debe instalar una válvula en la tubería de succión.

(2) Solamente en casos técnicamente justificados, las instalaciones de bombeo podrán prescindir del registro y válvula de retención en la tubería de impulsión.

(3) La disposición de los elementos conectados a la bomba debe ser hecha para permitir que su montaje o desmontaje se haga sin transmisión de esfuerzos a las piezas adyacentes y a la estructura de la casa de bombas. Las conexiones deben ser colocadas de modo de evitar estrangulamientos o alargamientos bruscos.

(4) La tubería de succión debe ser lo más corta posible, siempre ascendente hasta alcanzar la bomba, evitándose al máximo las piezas especiales.

(5) En las instalaciones normalmente ahogadas, cuando el volumen de agua retenido en las bombas, posible de un eventual desagüe, fuera superior a 100 litros, debe preverse una tubería de drenaje de las bombas, de forma tal que cada unidad pueda ser desaguada separadamente.

2.8.2.2 Tuberías internas

(1) Las tuberías deben ser dispuestas de manera que haya espacio para inspección, reparaciones, mantenimiento de registros y otras piezas y para permitir el montaje y desmontaje con un mínimo de perturbación al sistema.

(2) En los casos en los que se vuelve poco práctico contar con una flexibilidad de la tubería, deben preverse disposiciones que permitan el montaje y desmontaje, sin transmisión de esfuerzos a las piezas adyacentes.

(3) Las tuberías de impulsión proyectadas en forma de sifón con la boca de salida sumergida y que no disponen de válvulas de retención, deben disponer en su tramo elevado, de un dispositivo rompe sifón.

(4) El paso de paredes de compartimientos unidos, debe tener cierres para evitar infiltración y fugas.

(5) Todos los tipos de pasos de pared con tuberías deben ser detallados y justificados en el proyecto.

2.8.2.3 Registros y válvulas

(1) Cuando el diámetro nominal sea mayor a 500 mm, los registros y válvulas deben ser de accionamiento mecanizado y tener indicación clara de cuando estuvieran abiertos o cerrados. En el caso de accionamiento manual los registros y válvulas deben poseer dispositivos que permitan su accionamiento mediante la aplicación de un esfuerzo tangencial máximo de 20 kgf en el volante.

(2) Para todo diámetro, los registros deben ser instalados en lugares accesibles al operador y deben contar con dispositivos que faciliten su manipulación.

(3) Para la intalación de compuertas deben observarse los siguientes requisitos:

a) Serán de fierro fundido, con los componentes sujetos a desgaste, de bronce o acero inoxidable.
b) Las compuertas de plancha de acero, deben tener revestimiento anticorrosivo.
c) Serán instaladas de manera que se facilite la operación, acceso, montaje y desmontaje.
d) Deben ser seleccionadas para resistir la mayor presión que pueda ocurrir tomando en cuenta el empuje actuante en el sentido de comprimir la compuerta contra el compartimiento o en el sentido de dislocar la compuerta del compartimiento.
e) Tratándose de accionamiento manual, las compuertas deben poseer dispositivos que permitan su accionamiento mediante la aplicación de un esfuerzo tangencial máximo de 20 kgf en el volante.
f) Las compuertas mayores podrán ser mecanizadas, motorizadas o dotadas de cilindros hidráulicos (a presión de aceite).

2.8.3 Otras consideraciones de diseño.

2.8.3.1 Tuberías y accesorios de succión

(1) En el diseño y cálculo de tubería de succión se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

a) La CNPS disponible debe ser como mínimo 0,30 m mayor a la CNPS requerida, para evitar el fenómeno de cavitación.
b) El área libre de los orificios de la criba debe ser 2 a 4 veces la sección de la tubería de succión.
c) Cuando el diámetro de la tubería de succión es mayor que el de admisión de la bomba, la conexión debe realizarse por medio de una reducción excéntrica con su parte superior horizontal a fin e evitar la formación de bolsas de aire.
d) En tuberías de succión verticales, las reducciones serán concéntricas.
e) El diámetro de la tubería de succión debe ser mayor que el diámetro de la tubería de impulsión por lo menos en un diámetro nominal.
f) En una tubería de succión con presión positiva debe instalarse una válvula de compuerta.
g) En una tubería de succión que no trabaje con presión positiva debe instalarse una válvula de retención en su extremo inferior para evitar el cebado.

(2) Las tuberías de succión deben ser consideradas cuando se utilicen bombas centrífugas y axiales con motores externos no sumergibles.

(3) El diámetro interno de la tubería de succión puede calcularse con la siguiente expresión:

$$d = 1{,}1284 * \sqrt{\frac{Q}{v}}$$

Donde: d Diámetro interno de la tubería de succión en m
Q Caudal de bombeo en m^3/s
v Velocidad media de succión en m/s

2.8.3.2 Tuberías de impulsión

(1) En el diseño y cálculo de tuberías de impulsión se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

a) Dotar al sistema de los dispositivos que aseguren los riesgos debido al fenómeno del golpe de ariete.
b) A la salida de la bomba debe proyectarse una válvula de retención y una de compuerta. Asimismo, debe considerarse la instalación de uniones flexibles para mitigar los efectos de vibración.
c) La selección del diámetro de la tubería de impulsión debe basarse en un estudio comparativo técnico económico entre diferentes alternativas.
d) En todo cambio de dirección debe considerarse elementos de anclaje y sujeción.

(2) El diámetro de la tubería de impulsión, para distancias cortas, debe calcularse para una velocidad que este entre 1,50 a 2,00 m/s.

(3) Para el cálculo del diámetro económico en instalaciones que son operadas continuamente, debe emplearse la fórmula de Bresse:

$$D = k * \sqrt{Q}$$

Donde: D Diámetro económico en m
k Coeficiente
k = 1,00 a 4,40
Q Caudal de bombeo en m^3/s

(4) Para el cálculo del diámetro económico en instalaciones que no son operadas continuamente, debe emplearse la siguiente fórmula:

$$D = 1{,}30 * X^4 * \sqrt{Q}$$

Donde: D Diámetro económico en m

$$X = \frac{\text{Nº de horas de bombeo}}{24}$$

Q Caudal de bombeo en m^3/s

(5) El diámetro de la tubería de impulsión, para distancias largas, debe ser elegido sobre la base de una evaluación económica que compare diámetros, potencia del motor, consumo de energía y costos.

(6) La tubería de impulsión no debe ser diseñada con cambios bruscos de dirección de flujo.

(7) Deben instalarse los dispositivos necesarios para evitar el contraflujo del agua, cuando la bomba deja de trabajar o en caso de que exista falla eléctrica.

2.9 ESTUDIO DE LOS EFECTOS TRANSIENTES HIDRÁULICOS Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA

(1) El cálculo en régimen transitorio será hecho de acuerdo con lo prescrito en el Reglamento de Proyectos de Sistemas de Aducción de Agua para abastecimiento público.

(2) En las condiciones normales de operación, la máxima presión admisible es la que genera tensiones en las piezas móviles y fijas de la bomba, no superiores a las tensiones admisibles recomendadas por el fabricante de las bombas.

(3) En las condiciones de operación de emergencia, la máxima presión admisible es la que genera tensiones, en las piezas móviles y fijas de la bomba, no superiores a 1,5 veces las tensiones admisibles recomendadas por el fabricante de las bombas.

2.10 FUENTE DE ENERGÍA

(1) En la elaboración del proyecto, en cuanto a suministro de energía se refiere, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Estudiar cuidadosamente las alternativas para determinar la fuente de energía más económica y eficiente para el funcionamiento de las bombas.
b) Que sea posible suministrar suficiente energía para operar las bombas a su máxima capacidad en caso de emergencia.
c) Cuando la necesidad técnico - económica lo justifique, se proveerá una fuente de energía de emergencia (grupo electrógeno).

2.10.1 Generador de emergencia

(1) Debe(n) ser previsto(s) generador(es) de emergencia y ser dimensionado(s) de acuerdo con las necesidades, para accionar sistemas auxiliares que aseguren un trabajo ininterrumpido.

2.11 SISTEMAS DE MEDICIÓN, OPERACIÓN Y CONTROL

2.11.1 Sistema de medición

(1) Se debe incluir un sistema de medición de caudal. Sin embargo, en poblaciones menores a 2 000 habitantes, se puede prescindir su implementación previa justificación técnica y económica.

(2) El sistema de medición en instalaciones de importancia transmitirá a un receptor ubicado en el panel de comando, señales que interpretadas proporcionen indicación instantánea del caudal, registro e incluso localización a lo largo del tiempo.

2.11.2 Sistema de operación y control

(1) Los dispositivos de operación, control y alarma deben proporcionar, cuando se justifique, no sólo la indicación visual y sonora de la condición potencial de peligro, sino también, en situación más crítica, la interrupción del funcionamiento del sistema.

(2) En los sistemas de bombeo para poblaciones mayores a 2 000 habitantes, debe preverse la instalación de manómetros en la tubería de impulsión y manómetro vacuómetro o manovacuómetro en la tubería de succión.

2.12 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MOVIMIENTO Y SERVICIO

(1) En la selección de los equipos de movilización debe considerarse:

a) La capacidad de carga que debe atender al elemento de mayor peso que pueda ser transportado aisladamente.
b) La ubicación de los equipos debe ser estudiada de manera tal que permita el retiro adecuado, movilización o reposición de las piezas constituyentes de la estación elevadora.

(2) Para la instalación de equipos de movilización y servicio se hará una previsión adecuada de:

a) Vigas, para la instalación de puentes rodantes, monovías, apoyos para poleas, o manutención o remoción de bombas, motores o cualquier otra pieza de equipamiento pesado, o ya sea dejar paso libre para los pórticos cuando fuera el caso.
b) Aberturas, en el piso, o en otros lugares que permitan libre movimiento del mayor elemento instalado.

2.13 PROYECTOS COMPLEMENTARIOS

En estaciones de bombeo para poblaciones mayores a 2 000 habitantes se deben considerar los siguientes aspectos complementarios. Sin embargo el proyectista puede desestimar la necesidad de alguno(s) ellos si lo justifica técnicamente.

2.13.1 Iluminación

(1) La iluminación de la estación debe ser adecuada, por luz natural o artificial, la iluminación artificial debe obedecer las normas correspondientes, evitándose que las fuentes luminosas provoquen ilusiones ópticas.

2.13.2 Ventilación y acústica

(1) La ventilación del inmueble será provista por medio de ventanas, puertas, extractores, ventiladores u otros medios. Se debe considerar:

a) Todas las salas, compartimientos, pozos y otros recintos cerrados por debajo del nivel del terreno y que sean visitables y donde pueda presentarse atmósfera perjudicial, deben tener ventilación forzada, promoviendo, un mínimo de 6 cambios completos de aire por hora, cuando fuera continua y 30 cuando fuese intermitente.

b) Los controles de ventilación forzada podrán ser accionados manualmente de afuera de comportamiento o automáticamente cuando se abra la puerta de acceso o ya sea mediante censores que registren concentraciones de gases en la atmósfera.

(2) Siempre que pueda producirse incomodidad a la vecindad, provocada por los ruidos inherentes a las actividades de la estación elevadora, debe efectuarse el estudio de aislamiento acústico de los ambientes.

2.13.3 Instalaciones hidráulicas sanitarias

(1) En las instalaciones hidráulicas sanitarias deben observarse los siguientes aspectos:

a) Se preverá un tanque de agua con capacidad suficiente para satisfacer las necesidades de agua potable de la estación, con alimentación directa de la red externa o a través de fuente especial.
b) Los desagües y aguas servidas de la estación deben ser recolectados por un sistema previsto y dimensionado adecuadamente y que conduzca a un destino seguro desde el punto de vista sanitario.

(2) Para el drenaje de pisos serán provistos uno o más pozos de drenaje, hacia los cuales las aguas de lavado o de vaciado deben ser conducidas a través de canaletas o de pendientes suaves en los pisos de la estación elevadora.

(3) Cuando el desagüe por gravedad no fuera posible, dichos pozos serán equipados con bombas adecuadas para desagüe, accionadas automáticamente por dispositivos que detecten el nivel del líquido en el pozo.

2.13.4 Sistema de aguas de servicio

(1) El sistema de aguas de servicio debe ser proyectado completamente independiente del sistema de agua potable.

(2) Está expresamente prohibido efectuar cualquier ínterligazón entre los sistemas de agua de servicio y agua potable.

2.13.5 Sistema de combate de incendios

(1) En cuanto al sistema de combate de incendios, deben ser previstos de extinguidores convenientemente ubicados en lugares de fácil acceso y cerca de donde puedan ocurrir inicios de incendio.

2.13.6 Acceso y escaleras

(1) Deben preverse entre los diferentes pisos, escaleras seguras y apropiadas y a falta de espacio, escaleras metálicas de borde con barandilla, peldaños amplios, con piso antideslizante. La inspección de los compartimientos de difícil acceso debe ser hecha a través de escaleras portátiles seguras e instaladas a tiempo de la inspección.

2.13.7 Protección contra rayos

(1) Se considerar la utilización de pararrayos en las estaciones de bombeo.

ANEXO “A”
FIGURAS - ESTACIONES DE BOMBEO

Reglamento Nacional NB 689

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Segunda revisión

Diciembre 2004

ÍNDICE

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES 253
1.1 OBJETO 253
1.2 CAMPO DE APLICACIÓN 253
1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO 253

CAPÍTULO 2
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA 254
2.1 DEFINICIÓN 254
2.2 TIPOS DE TANQUES 254
2.2.1 Considerando la ubicación sobre el terreno 254
2.2.1.1 Tanques superficiales 254
2.2.1.2 Tanques elevados 254
2.2.2 Considerando el tipo de alimentación 254
2.2.2.1 Tanques de cabecera (regulación) 254
2.2.2.2 Tanques de compensación (cola) 254
2.3 INFORMACIÓN NECESARIA 255
2.4 CAPACIDAD DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO 255
2.4.1 Volumen de regulación 255
2.4.2 Volumen contra incendios 257
2.4.3 Volumen de reserva 257
2.4.4 Reducción de la capacidad del tanque 258
2.5 COTAS O NIVELES DE INSTALACIÓN 258
2.6 REQUERIMIENTO DE DISEÑO 259
2.6.1 Profundidad 259
2.6.2 Distancia a otros servicios 259
2.6.3 Emplazamiento 259
2.6.4 Sistema de drenaje inferior 260
2.6.5 Número de unidades 260

CAPÍTULO 3
ASPECTOS CONSTRUCTIVOS 262
3.1 GENERALIDADES 262
3.2 ACCESORIOS 263
3.2.1 Tubería de entrada 263
3.2.2 Tubería de paso directo (by-pass) 263
3.2.3 Tubería de salida 263
3.2.3.1 Diámetro de salida y accesorios 264
3.2.3.2 Ubicación de la tubería de salida 264
3.2.4 Tubería de rebose 265
3.2.5 Tubería de limpieza 266
3.2.6 Coladores 267
3.3 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS 267
3.3.1 Altura de revancha 267
3.3.2 Revestimiento interior 267
3.3.3 Protecciones 267
3.3.4 Cubierta 267
3.3.5 Descargas de agua 268
3.3.6 Facilidades para mantenimiento 268

3.3.7 Previsiones contra roturas 268
3.3.8 Limitadores de nivel 268
3.3.9 Ventilación 268
3.3.10 Acceso de inspección 269
3.3.11 Indicador de nivel 269
3.3.12 Medidor de caudal 269
3.3.13 Protección contra la luz natural 270
3.3.14 Cerco de protección 270
3.3.15 Escaleras de acceso 270
3.3.16 Escaleras interiores 270
3.3.17 Señalización 270

ANEXOS

ANEXO "A"
ANEXOS - TANQUES DE ALMACENAMIENTO 271

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presiones admisibles por tipo de suelo 162

PARTICIPANTES

Las Instituciones y profesionales que participaron en la revisión y actualización del presente Reglamento fueron los siguientes:

Alvaro Camacho	Director General de Servicios Básicos VSB
Alcides Franco	Director de Area de Normas y Tecnología VSB
Marco Quiroga	Coordinador General PROAT
Reynaldo Villalba	VSB
Enrique Torrico	VSB
Susana Jaramillo	VSB
Marco Reyes	FPS La Paz
Ramiro Plaza	FPS Santa Cruz
Marco Ocampo	UNASBVI Potosí
Juan Carlos Guzmán	HAM Cochabamba
Carlos Guardia	SEMAPA
José Díaz	IIS-UMSA
Gregorio Carvajal	IIS-UMSA
Juan Carlos Holters	ABIS Santa Cruz
Oscar Álvarez	Consultor independiente

ELABORACIÓN
AGUILAR & ASOCIADOS S.R.L.

Humberto Cáceres	Gerente de Saneamiento Básico
Carlos España	Consultor
Grover Rivera	Consultor
Iván Alvarez	Diseño Gráfico

FINANCIADOR
Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Asdi)

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES

1.1 OBJETO

(1) El presente Reglamento tiene por objeto, establecer los criterios técnicos y condiciones mínimas, que se deben cumplir en el diseño de tanques de almacenamiento de agua, que se utilizan para sistemas de agua potable.

1.2 CAMPO DE APLICACIÓN

(2) Este Reglamento se aplica a nivel nacional para el diseño, ejecución o control de sistemas de agua potable públicos y/o privados.

(3) Es obligatorio el conocimiento y aplicación del Reglamento Técnico de Diseño de Tanques de Almacenamiento de Agua, por el proyectista, ejecutor, supervisor y fiscalizador de la obra. Sin embargo, se podrán aplicar criterios de diseño, constructivos y métodos de control no especificados en el presente reglamento toda vez que se justifiquen técnicamente ante la Autoridad Competente.

1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

(1) La elaboración del proyecto de tanques de almacenamiento de agua comprende las siguientes actividades:

a) Obtener los datos y estudios básicos de diseño.
b) Establecer el tipo y ubicación del tanque.
c) Determinar la capacidad del tanque.
d) Establecer la forma, dimensiones, número y emplazamiento del tanque.
e) Establecer los niveles de instalación.
f) Seleccionar el material del tanque.
g) Localizar los dispositivos del tanque.
h) Diseñar los accesorios y obras complementarias.

CAPÍTULO 2
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

2.1 DEFINICIÓN

(1) Los tanques de almacenamiento son estructuras civiles destinadas al almacenamiento de agua. Tienen como función mantener un volumen adicional como reserva y garantizar las presiones de servicio en la red de distribución para satisfacer la demanda de agua.

2.2 TIPOS DE TANQUES

2.2.1 Considerando la ubicación sobre el terreno

2.2.1.1 Tanques superficiales

(1) Se asientan directamente sobre el terreno, pueden ser superficiales o semienterrados dependiendo de las condiciones del terreno y su forma constructiva.

(2) Deben ser utilizados cuando la topografía del terreno permita una ubicación tal que garantice la presión mínima en todos los puntos de la red de distribución.

(3) Los tanques superficiales pueden construirse en hormigón armado, hormigón simple, hormigón ciclópeo, ferrocemento, mampostería y otros.

2.2.1.2 Tanques elevados

(1) Se encuentran por encima del nivel del terreno natural y soportado por una estructura.

(2) La altura a la cual se encuentra el tanque elevado debe ser tal que garantice la presión mínima en el punto más desfavorable de la red de distribución, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Técnico de Redes de Distribución para Sistemas de Agua Potable.

(3) Los tanques elevados pueden construirse de acero, hormigón armado, pretensado, postensado, ferrocemento, fibra de vidrio y otros.

2.2.2 Considerando el tipo de alimentación

2.2.2.1 Tanques de cabecera (regulación)

(1) Se alimentan directamente de la fuente o planta de tratamiento mediante gravedad o bombeo (véase **Figura A.1** de **Anexo A**).

2.2.2.2 Tanques de compensación (cola)

(1) Se ubican en la parte mas alejada de la red de distribución con relación a la obra de captación o planta de tratamiento, se alimentan por gravedad o por bombeo. Almacenan agua en las horas de menor consumo y auxilian al abastecimiento de la red de distribución en las horas de mayor consumo (véase **Figura A.1** de **Anexo A**).

2.3 INFORMACIÓN NECESARIA

(1) La elaboración del proyecto de tanques de almacenamiento requiere disponer de la siguiente información:

a) La concepción básica del sistema de abastecimiento de agua.
b) La reserva total necesaria para cada zona de presión.
c) Localización en planta.
d) Número de unidades y definición de las etapas de ejecución.
e) Cota de los niveles de agua.
f) Estudio de suelos del área de emplazamiento.

2.4 CAPACIDAD DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

(1) En todo el sistema de agua potable debe disponerse de un volumen de agua almacenado, para efectuar la regulación entre la producción de agua y la extracción para el consumo, esencialmente variable. Este volumen de agua almacenado se proyectará considerando que, simultáneamente a la regulación para hacer frente a la demanda, debe lograrse el diseño más económico del sistema de distribución y mantener una reserva prudencial para los casos de interrupción de las líneas de energía o fuentes de abastecimiento.

(2) La capacidad del tanque de almacenamiento debe ser igual al volumen que resulte mayor de las siguientes consideraciones:

a) Volumen de regulación.
b) Volumen contra incendios.
c) Volumen de reserva.

(3) El Ingeniero proyectista deberá justificar las consideraciones realizadas para el cálculo del volumen total.

2.4.1 Volumen de regulación

(1) El volumen de almacenamiento previsto como regulación está destinado a proveer:

a) Suministro de agua en las horas de demanda máxima.
b) Presiones adecuadas en la red de distribución.

(2) El volumen de regulación debe ser suficiente para compensar las variaciones de caudal que se presentan entre el caudal de alimentación y el caudal de consumo en cada instante.

(3) Para cada zona de presión debe corresponder un volumen de almacenamiento en uno o más tanques interconectados.

(4) El volumen almacenado correspondiente a una zona de presión, puede estar incluido en tanques correspondientes a otras zonas de presión, cuando:

a) Se haya demostrado que esa solución es la más económica para el sistema de distribución. Proveyendo la instalación de válvulas reductoras de presión al pasar a otra zona de presión.

b) Las obras mínimas necesarias para atender a una etapa de construcción permitiesen esa condición de funcionamiento temporal.

(5) El cálculo del volumen puede ser realizado de dos formas:

a) Determinación mediante curvas de consumo

i) De existir datos suficientes para permitir el trazado de la curva de variación del consumo diario, el volumen a ser almacenado necesario para la atención de esas variaciones, debe ser determinado por métodos analíticos o gráficos sobre la base de las curvas de demanda correspondientes de cada población o zona abastecida y el régimen previsto de alimentación de los tanques.

ii) Los datos a los que se refiere el párrafo anterior deben ser datos de la comunidad en estudio o de una comunidad que presente características semejantes en términos de desenvolvimiento socio-económico, hábitos de la población, clima y aspectos técnicos del sistema.

iii) En el método analítico o gráfico deben tomarse en cuenta las características del sistema: gravedad, bombeo, tipo de funcionamiento, continuo o discontinuo, número de horas de bombeo, etc.

iv) En la **Figura A.2** y **Figura A.3** del **Anexo A**, se presentan las curvas características de variaciones horarias y de consumos acumulados, respectivamente, para una población específica.

v) El volumen total de regulación se halla trazando las curvas de suministro del sistema y la curva de consumos acumulados. Dibujando la tangente a la curva de masas y sumando los valores por exceso y defecto se estima el volumen requerido para el sistema (véase **Figura A.4** de **Anexo A**).

b) Determinación mediante coeficientes empíricos

(1) Al no existir los datos referidos, el volumen mínimo de almacenamiento, necesario para compensar la variación diaria del consumo, debe ser determinado de acuerdo con los siguientes criterios:

a) Para sistemas por gravedad, el volumen del tanque de regulación debe estar entre el 15% a 30% del consumo máximo diario.

b) Para sistemas por bombeo, el volumen del tanque de regulación debe estar entre el 15% a 25% del consumo máximo diario, dependiendo del número y duración de las horas de bombeo, así como de los horarios en los que se realicen dichos bombeos.

(2) En el volumen de un tanque debe preverse también una altura de revancha, o altura libre por encima del nivel máximo de aguas, a fin de contar con un espacio de aire ventilado, dicho espacio debe ser igual o mayor a 0,20 m.

(3) Para cualquiera de los casos el volumen debe ser determinado utilizando la siguiente expresión:

$$V_r = C * Q_{máx.d} * t$$

Donde:	V_r	Volumen de regulación en m^3
	C	Coeficiente de regulación
		Sistemas a gravedad 0,15 a 0,30
		Sistemas por bombeo 0,15 a 0,25
	$Q_{max.d}$	Caudal máximo diario en m^3/d
	t	Tiempo en días
		t = 1 día como mínimo

4) El proyectista podrá utilizar tiempos mayores a un día, si los justifica técnicamente.

2.4.2 Volumen contra incendios

(1) Este volumen está destinado a garantizar un abastecimiento de emergencia para combatir incendios.

(2) El volumen destinado para combatir incendios, debe ser establecido de acuerdo con la entidad que tiene a su cargo la mitigación de incendios, atendiendo a las condiciones de capacidad económica, las condiciones disponibles de protección contra incendios y las necesidades de esa protección.

(3) El volumen contra incendios, debe ser determinado en función de la importancia, densidad de la zoná a servir y el tiempo de duración del incendio.

(4) Se debe considerar los siguientes casos:

a) Para zonas con densidades poblacionales menores a 100 hab/ha, considerar un caudal contra incendio (Q_i) en la red de distribución de 10 l/s.
b) Para zonas con densidades poblacionales comprendidas entre 100 hab/ha a 300 hab/ha, considerar un caudal contra incendio (Q_i) en la red de distribución de 16 l/s.
c) Para zonas con densidades poblacionales mayores a 300 hab/ha a, considerar un caudal contra incendio (Q_i) en la red de distribución de 32 l/s.

(5) El volumen de almacenamiento para atender la demanda contra incendios debe calcularse para un tiempo de duración del incendio entre 2 horas y 4 horas, a través de la siguientes expresión:

$$V_i = 3.6 * Q_i * t$$

Donde:	V_i	Volumen para lucha contra incendios en m^3
	Q_i	Caudal para lucha contra incendio en l/s
	t	Tiempo de duración del incedio en horas

2.4.3 Volumen de reserva

(1) Este volumen, prevé el abastecimiento de agua durante las interrupciones accidentales

de funcionamiento de los componentes del sistema situados antes del tanque de almacenamiento, o durante períodos de reparaciones y mantenimiento de obras de captación, conducción, tratamiento y/o en casos de falla en el sistema de bombeo.

(2) Como aguas arriba del tanque hay una serie de obras más o menos expuestas a interrupción, es evidente que durante ese lapso debe disponerse de una reserva de agua en los tanques de almacenamiento; para ello se recomienda considerar un volumen equivalente a 4 horas de consumo correspondiente al caudal máximo diario.

$$V_{re} = 3,6 * Q_{máx.d} * t$$

Donde:	V_{re}	Volumen de reserva en m^3
	$Q_{máx.d}$	Caudal máximo diario en l/s
	t	Tiempo en horas

2.4.4 Reducción de la capacidad del tanque

(1) Podrán proyectarse tanques de almacenamiento con volúmenes diferentes a los consignados en los numerales anteriores, siempre que se den las razones técnico-económicas correspondientes que justifiquen los volúmenes adoptados.

(2) En especial, en el caso de conducciones de poca longitud que cuente con dos fuentes independientes entre sí, debe disminuirse o distribuirse el volumen de almacenamiento, de acuerdo con lo que a continuación se indica:

i) En el caso de fuente subterránea se debe reducir el volumen de almacenamiento elevado, pues se considera que el acuífero cumple las funciones de reserva. El depósito elevado debe cumplir con la función de regulación entre los caudales afluentes y efluentes, más una pequeña reserva para emergencias.

ii) Para los casos en que la captación sea superficial se debe distribuir el volumen de almacenamiento entre cisterna y tanque elevado cuya función será similar a la mencionada.

(3) En todos los casos se debe calcular el régimen de bombeo y determinar la conveniencia económica de la solución propuesta.

2.5 COTAS O NIVELES DE INSTALACIÓN

(1) La ubicación y nivel de los tanques de almacenamiento deben ser fijados de manera tal de garantizar que las presiones dinámicas mínimas en la red de distribución se hallen dentro de los límites establecidos en el Reglamento de Redes de Distribución para Sistemas de Agua Potable.

(2) Las presiones estáticas y dinámicas en la red deben estar referidas: la primera al nivel de agua máximo y la segunda al nivel de agua mínimo de los tanques de distribución.

(3) Cuando una zona de emplazamiento para un tanque de almacenamiento no presente cota suficiente para garantizar las condiciones de presión necesarias para el funcionamiento de la red, la distribución debe ser realizada a partir de un tanque elevado.

2.6 REQUERIMIENTO DE DISEÑO

(1) No debe haber limitación en cuanto a la elección de las formas y métodos de construcción, de acuerdo a los casos particulares y modalidades regionales. Se debe exigir, en cambio, seguridad, durabilidad y el cumplimiento de las condiciones sanitarias requeridas para las reservas de agua potable.

(2) La forma del tanque debe proporcionar máxima economía global en términos de fundación, estructura, utilización de área donde el tanque será ubicado, equipos de operación y control e interligazón entre unidades.

(3) La entidad o cliente podrá solicitar, cuando el proyecto implique soluciones no usuales o de difícil materialización, un estudio económico, la comparación con otras soluciones posibles y la garantía de que se cuenta con personal técnico o empresas suficientemente capacitadas para materializar el proyecto.

(4) La implementación del tanque debe obedecer los criterios que se describen a continuación.

2.6.1 Profundidad

(1) El fondo del tanque de almacenamiento debe ubicarse por lo menos 0,50 m por encima del nivel de agua máximo de la napa freática o de la cota de inundación máxima.

(2) Cuando fuera necesario, el nivel de agua de la napa freática, puede ser disminuido mediante drenaje y descarga natural a un sitio donde el nivel de agua no sobrepase la cota para la cual la napa debe ser disminuida. El drenaje, circundará externamente el perímetro del fondo del tanque de almacenamiento a una distancia mínima de 2 m de las paredes del mismo. El terreno circundante debe rellenarse con material permeable.

2.6.2 Distancia a otros servicios

(1) La distancia mínima entre un tanque de almacenamiento enterrado o semienterrado y una tubería de alcantarillado, debe ser mayor a 30 m cuando el terreno fuera impermeable. Cuando el terreno fuera permeable, la distancia mínima será de 45 m.

(2) Las distancias podrán ser reducidas a la mitad si fuera instalado un sistema de drenaje circundante como fuera indicado en 2.6.1.

2.6.3 Emplazamiento

(1) En general, razones económicas llevan a fijar como criterios recomendables para la ubicación de los tanques los siguientes:

a) Proximidad de la fuente de abastecimiento o de la planta de tratamiento.
b) Dentro o en las cercanías de la zona de mayores consumos.
c) En las zonas altas de la localidad.

(2) El o los tanques de almacenamiento deben localizarse lo más cerca posible de la red de distribución teniendo en cuenta la topografía de la población y el mantenimiento de presiones adecuadas en la misma.

(3) El área para el emplazamiento del tanque no debe situarse en lugares que constituyan escurrimiento natural de aguas de lluvia.

(4) Siempre que se presente el paso de aguas de lluvia junto al área del tanque, deben tomarse cuidados especiales para evitar que dicha agua pueda penetrar al interior del área indicada.

(5) De preferencia los tanques elevados, conviene situarlos en una zona opuesta al punto de alimentación de la red, consiguiéndose de éste modo una mejor disponibilidad de presiones, trabajando de ésta manera como tanque de compensación.

2.6.4 Sistema de drenaje inferior

(1) Por debajo del fondo del tanque de almacenamiento debe construirse un sistema de drenaje destinado a captar fugas a través de su fondo y de otras partes de su estructura no expuesta.

(2) El sistema de drenaje debe ser subdividido de modo que cada subdivisión corresponda a un área máxima de 500 m^2 de fondo de tanque.

(3) El sistema de drenaje descargará libremente en una o más cámaras de inspección, donde sea posible visualizar la ocurrencia de fugas.

(4) Cuando el sistema de drenaje fuera dividido en áreas, éstas serán bien definidas y la descarga correspondiente a cada área se hará independientemente en las cámaras colectoras.

(5) El sistema de drenaje debe estár constituido por una tubería colectora principal a la cual podrán unirse tuberías colectoras secundarias, haciéndose en éste caso una conexión entre ambas mediante la utilización de piezas especiales como tees o uniones o mediante cámaras.

(6) Los tubos del sistema de drenaje debe estár envueltos por grava de granulometría descendente en el sentido del centro a la periferia.

(7) Cuando la fundación del tanque fuera directa sobre el terreno, deben adoptarse medios para evitar que el agua proveniente de las fugas cause erosión en el terreno y perjudique la fundación del tanque.

(8) El sistema de drenaje instalado por debajo del fondo debe ser independiente del sistema de drenaje del terreno establecido en 2.6.1.

(9) Las aguas provenientes del sistema de drenaje deben ser descargadas por gravedad o mediante bombeo. La descarga debe ser de tal manera que impida un reflujo de las aguas de cualquier origen al interior del sistema de drenaje.

2.6.5 Número de unidades

(1) El almacenamiento total correspondiente a cada zona de presión, debe ser subdividido en por lo menos dos unidades independientes, situadas próximas o adyacentes entre si.

(2) Cuando el volumen del tanque de almacenamiento sea superior a 50 m^3, se debe considerar el uso de dos o más tanques de manera que se faciliten las tareas de operación y mantenimiento.

CAPÍTULO 3
ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

3.1 GENERALIDADES

(1) Los tanques deben construirse donde las condiciones del suelo sean favorables. Se ubicarán en terrenos firmes, alejados de zonas de deslizamiento, fallas geológicas, drenajes de agua y focos de contaminación.

(2) En la **Tabla 1**, se presentan valores referenciales de las presiones admisibles por tipo de suelo.

Tabla 1. Presiones admisibles por tipo de suelo

Tipo de suelo	Presión admisible (kg/cm^2)
Terreno aluvial	0,50
Arcilla suave	1,00
Arcilla firme	2,00
Arcilla dura	4,00
Arena y arcilla compactas	2,00
Suelos sueltos de arena y arcillas	1,00
Arena fina suelta, suelos de arena, limo inorgánico, semicompactos	2,00
Grava compactada, formaciones de grava, cantos gruesos	10,00
Grava arenosa compacta	10,00
Roca blanda	8,00
Roca de dureza media	40,00
Roca dura, sana	60,00

(3) Las características del suelo de fundación deben ser obtenidas mediante análisis de suelos, según lo establecido en el Reglamento de Estudios y Parámetros de Diseño para Sistemas de Agua Potable.

(4) El nivel de fundación debe determinarse en función de la capacidad portante del suelo y el nivel freático del mismo.

(5) Los tanques de almacenamiento deben contar con cerco de protección cuya altura mínima de ser de 1.50 m.

(6) Para el diseño de tanques se debe considerar la disponibilidad de materiales del lugar (cemento, piedra, arena, grava, ladrillo, etc,) y mano de obra.

(7) Los tanques de almacenamiento pueden ser construidos de los siguientes materiales.

a) Ferrocemento
b) Hormigón armado
c) Hormigón ciclópeo
d) Mampostería de piedra o ladrillo
e) Metálicos
f) Fibra de vidrio
g) Otros

(8) Todo tanque debe contar con un cálculo estructural (incluida la fundación) y ser diseñado para las diversas condiciones de carga: tanque lleno, vacío, empuje de tierras y verificarse los esfuerzos de tracción, corte, flexión y torsión. Asimismo, se debe garantizar la estanqueidad de la estructura.

(9) El fondo del tanque debe tener una pendiente mínima del 1% hacia la tubería de limpieza.

(10) En terrenos con presencia de agua o nivel freático alto, debe diseñarse un sistema de drenaje que proteja la estabilidad de la estructura.

3.2 ACCESORIOS

3.2.1 Tubería de entrada

(1) La entrada de agua en cada una de las unidades, cuando tienen salida independiente, debe ser dimensionada para un caudal máximo que alimenta al conjunto de tanques de almacenamiento, dividida por el número de unidades menos una, tomando en cuenta que por razones de mantenimiento una de las unidades esté fuera de servicio.

(2) El dimensionamiento de la tubería de entrada debe ser realizada de modo que la velocidad sea como máximo al doble de la velocidad en la tubería que alimenta los tanques de almacenamiento y no sobrepase una pérdida de carga de 1,0 m.

(3) La entrada de agua debe ser dotada de un sistema de cierre mediante válvula y será maniobrada mediante dispositivo situado en la parte externa del tanque.

(4) La distancia entre la generatriz inferior de la tubería de ingreso y la generatriz superior de la tubería de rebose no debe ser inferior a 0,05 m (véase **Figura A.5** de **Anexo A**).

(5) Cuando la entrada de agua se efectúa por encima del nivel mínimo de agua del tanque, deben tomarse las previsiones para absorber o evitar el impacto de la caída de agua hasta el fondo del tanque vacío.

(6) Cuando la entrada de agua se efectúa por debajo del nivel máximo de agua del tanque, la línea de aducción debe ser dotada de un dispositivo destinado a impedir la pérdida de agua almacenada en el caso de producirse una rotura en la tubería de alimentación.

3.2.2 Tubería de paso directo (by-pass)

(1) En tanques de un solo compartimiento, debe colocarse un paso directo (by-pass) que permita mantener el servicio mientras se efectúa el lavado o la reparación del tanque, con la debida consideración de la sobre presión que pueda presentarse, en caso que el tanque trabaje como cámara rompe presión.

(2) Se debe considerar el uso de by pass cuando el volumen del tanque de almacenamiento sea mayor a 50 m^3. Para volúmenes menores, el proyectista justificará la necesidad del by-pass.

(3) La tubería de paso directo estará provista de válvula compuerta.

3.2.3 Tubería de salida

3.2.3.1 Diámetro de salida y accesorios

(1) El diámetro de la tubería de salida debe estar en función de la tubería matriz de distribución o tubería de conducción, determinada por cálculo.

(2) La tubería de salida debe ser calculada de modo que la velocidad máxima a través de los elementos que la constituyen no sobrepase 1,5 veces la velocidad en la tubería que sigue a la misma y no debe sobrepasar una pérdida de carga de 0,50 m.

(3) La tubería de salida de agua debe ser dotada de un sistema de cierre mediante una válvula compuerta, que debe ser maniobrada por medio de un dispositivo situado en la parte externa del tanque.

(4) El diámetro de la tubería de salida será correspondiente al diámetro de la tubería de distribución o tubería de conducción.

3.2.3.2 Ubicación de la tubería de salida

(1) La tubería de salida de agua debe ser emplazada de manera de impedir la formación de vórtices, cuando el agua hubiera llegado al nivel mínimo útil.

(2) De no existir junto a la salida un dispositivo capaz de evitar la formación de vórtices, cuyo funcionamiento ha tenido que ser comprobado, deben ser exigidas las siguientes alturas de agua sobre la salida:

a) En una tubería de salida situada en un plano horizontal, la altura de agua debe ser igual a 3 veces el mayor diámetro de la tubería.
b) En una tubería de salida situada en un plano inclinado, formando un ángulo máximo 45° con un plano horizontal, la altura de agua medida al centro de la tubería debe ser igual a 3 veces la mayor dimensión de la tubería.
c) En una tubería de salida situada en un plano inclinado, que forma con un plano horizontal un ángulo mayor que 45°, la altura de agua medida a la parte más alta de tubería debe ser igual a 2 veces la dimensión de la tubería definida por la parte alta.

(3) Para garantizar la altura mínima prevista anteriormente, la salida podrá localizarse en un pozo formado en el fondo del tanque.

(4) El pozo tendrá en planta un área correspondiente a 10 veces el área de la abertura de salida, debe presentar una relación entre sus lados, inferior a 1,5 y debe presentar un perímetro no coincidente con las paredes, por lo menos igual a 2 veces la raíz cuadrada de su área.

(5) El borde del pozo debe situarse por lo menos 10 cm por debajo del fondo del tanque.

(6) La velocidad máxima del agua en la sección de salida debe ser menor a 0,60 m/s.

(7) De presentarse una reducción de sección después de la salida, el ángulo de inclinación de las paredes de la reducción con relación a la normal al eje de la salida no debe ser mayor a 10°.

(8) La tubería de salida debe estar ubicada a una altura mínima de 1/3 a 1/2 del diámetro (D) de la misma, entre la parte inferior de la tubería o criba (colador) y el fondo del pozo, con un mínimo de 0,10 m.

(9) La distancia horizontal entre el colador de salida y la pared más próxima del tanque debe ser como mínimo igual a D/2, con un mínimo de 0,10 m.

3.2.4 Tubería de rebose

(1) La tubería de rebose debe ser dimensionada para posibilitar la descarga del caudal máximo diario que podrá alimentar al tanque.

(2) Para el cálculo debe emplearse la fórmula general de orificios:

$$Q = C_d * A * \sqrt{2 * g * h}$$

Donde:	Q	Caudal máximo diario o caudal de bombeo en m^3/s
	C_d	Coeficiente de contracción
		$C_d = 0.60$
	A	Área del orificio de desagüe en m^2
	g	Aceleración de la gravedad en m/s^2
	h	Carga hidráulica sobre la tubería de desagüe en m

(3) El diámetro de la tubería de rebose no debe ser inferior al diámetro de la tubería de ingreso.

(4) La tubería de rebose debe descargar libremente en una cámara situada tan próxima cuanto sea posible del tanque y debe presentar un tramo final recto.

(5) El tramo recto final debe ser dispuesto de manera de presentar una separación mínima de 0,50 m de cualquier superficie o elemento exterior.

(6) El nivel máximo de agua en el tanque se debe ubicar por lo menos 1,0 m por encima del borde superior de la cámara destinada a recibir el rebose.

(7) La cámara destinada a recibir el rebose debe ser protegida, a la altura de su borde, por una rejilla con un espacio máximo de 10 cm.

(8) El emplazamiento de la cámara debe permita el escurrimiento del agua para evitar que el agua vaya a salir por los bordes, de la misma.

(9) Las paredes del tanque deben tener una altura total por lo menos 0,30 m mayor que la altura alcanzada por el agua en rebose, debiendo ser dimensionadas para soportar dicha condición.

(10) La tubería de rebose se conectará con descarga libre a la tubería de limpieza, permitiendo la descarga en cualquier momento, para lo cual no se proveerá de válvula.

(11) El diámetro de la tubería de rebose debe estar determinado por la altura de la cámara de aire (o altura de revancha) en el tanque o por un caudal mayor o igual al caudal de llegada, evitándose cualquier presión sobre la tapa del tanque.

3.2.5 Tubería de limpieza

(1) Todo tanque de almacenamiento debe estar provisto de una tubería de limpieza.

(2) La limpieza del tanque será realizada a través de una tubería de descarga de fondo situada por debajo de su nivel mínimo.

(3) Los tanques con capacidad mayor a 50 m3 deben contar con una cámara de limpieza ubicada por debajo del nivel de piso y que permita drenar toda el agua del tanque. El volumen de dicha cámara no será considerado en el cálculo del volumen útil del tanque.

(4) La tubería de limpieza se debe disponer en el fondo del tanque de almacenamiento o de la cámara de limpieza indicada.

(5) El fondo del tanque debe contar con una pendiente no menor al 1% hacia la tubería de limpieza.

(6) Debe proveerse una tubería cuyo diámetro debe ser tal que facilite el vaciado del tanque en un período no mayor a 4 horas.

(7) Para el cálculo del área del orificio de la tubería de limpieza debe utilizarse la fórmula siguiente:

$$A_0 = \frac{2 * S * \sqrt{h}}{C_d * T * \sqrt{2g}}$$

Donde:	T	Tiempo de vaciado en segundos
	S	Área superficial del tanque en m^2
	h	Carga hidráulica sobre la tubería en m
	C_d	Coeficiente de contracción
		C_d = 0,60 a 0,65
	A_0	Área del orificio de desagüe en m^2
	g	Aceleración de la gravedad en m/s^2

(8) La tubería de limpieza no debe tener una sección menor a 0,015 m^2 .

(9) La tubería de limpieza debe estar provista de válvula compuerta.

(10) La tubería de limpieza no debe descargar en forma directa al alcantarillado sanitario, para lo cual deben tomarse las previsiones necesarias para evitar contaminaciones, preferentemente se debe descargar al alcantarillado pluvial.

3.2.6 Coladores

(1) Las aberturas de salida de agua del tanque así como la descarga de fondo, deben ser protegidas con colador o con una rejilla con abertura máxima igual a 5 cm y con un área abierta total 50% mayor que la abertura protegida.

3.3 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS

3.3.1 Altura de revancha

El tanque de almacenamiento debe estar provisto de una altura de revancha o altura libre por encima del nivel máximo de aguas, a fin de contar con un espacio de aire ventilado. La altura de revancha no debe ser menor a 0,20 m.

3.3.2 Revestimiento interior

(1) El fondo y las paredes del tanque, deben ser impermeables, independientemente de cualquier tratamiento especial, como pintura o revestimiento.

(2) Cuando se pretenda proceder con el pintado o revestimiento del fondo o de las paredes, debe verificarse mediante ensayo adecuado que aquellas partes sean ya impermeables. Solamente después se procederá con el pintado o revestimiento.

3.3.3 Protecciones

(1) Todas las áreas que existieran al interior del tanque y situadas por debajo del nivel mínimo de agua, cuya profundidad fuera superior a 1,00 m, deben ser protegidas con una rejilla constiutida de material a prueba de corrosión, con aberturas menores a 0,01 m^2

3.3.4 Cubierta

(1) La cubierta del tanque, será impermeable y continua, se considerará continua a aquella constituida por elementos unidos por juntas flexibles empotrados en los elementos que conforman la cubierta.

(2) Además de la impermeabilidad intrínseca de la cubierta, su superficie superior, debe ser revestida con capas de materia asfáltica o de otro material impermeabilizante que sea capaz de adherirse a la cubierta.

(3) La cubierta debe tener una pendiente mínima del 2%.

(4) La cubierta del tanque, no podrá ser usada para la formación de jardines y ninguna otra finalidad que permita la presencia de personal sobre la misma, a menos que sobre la impermeabilización se constituya una capa de drenaje con escurrimiento natural y ésta sea cubierta por una capa impermeable que a su vez esté protegida. Por encima de ésta protección será permitido el uso del área.

(5) Las aguas que se precipitaran sobre la cubierta deben escurrirse naturalmente por su superficie hasta su periferia, sin la formación de pozas.

3.3.5 Descargas de agua

(1) Las descargas de agua provenientes de uno o más tanques deben ser conducidas hasta un curso receptor mediante un conducto dimensionado para un caudal por lo menos igual al máximo caudal conducido hasta los tanques.

(2) Cuando un conducto fuera utilizado como galería de aguas pluviales, su dimensionamiento debe considerar una ocurrencia simultánea de la máxima descarga de los tanques y de una lluvia crítica con período de recurrencia de 50 años.

(3) El curso de agua escogido para recibir las descargas, debe tener la capacidad para ello, debiendo ser analizada la influencia del caudal descargado en su escurrimiento.

3.3.6 Facilidades para mantenimiento

(1) Los dispositivos para el cierre de las tuberías de entrada y salida o de descarga de fondo, deben ser instalados de tal manera que puedan ser reparados aún cuando el tanque se encuentre lleno de agua, de modo que su remoción pueda ser hecha sin que sea necesario cortar o destruir parte de las instalaciones.

3.3.7 Previsiones contra rupturas

(2) Cuando las tuberías de entrada, salida o limpieza fueran instaladas por debajo del fondo del tanque, deben ser previstos dispositivos para impedir la ruptura de las mismas y para no perjudicar la fundación del tanque.

3.3.8 Limitadores de nivel

(1) En tanques elevados, debe disponerse de un dispositivo limitador del nivel máximo de agua, destinado a impedir la pérdida de agua a través del rebosadero.

(2) En los casos de tanques abastecidos por aducciones por gravedad, los dispositivos limitadores de nivel, podrán estar constituidos por válvulas que se cierren cuando el agua haya alcanzado el nivel máximo útil.

(3) En los casos de aducción por bombeo para un tanque o un conjunto de tanques que presenten los niveles máximos útiles en una misma cota, el dispositivo limitador de nivel debe ser constituido por un sistema que interrumpa el abastecimiento de energía a las bombas cuando el nivel de líquido coincida con el máximo nivel útil previsto en el proyecto.

(4) En los casos de tanques ubicados en diferentes posiciones y abastecidos por aducción por bombeo debe ser previsto un sistema automático de cierre mediante válvulas comandadas por el nivel de agua y de interrupción de la alimentación de energía. En éste caso la interrupción de la alimentación de energía solamente se producirá cuando todos los tanques estuviesen llenos.

3.3.9 Ventilación

(1) Los tanques deben contar con dispositivos para ventilación, que permitan la entrada y salida de aire de su interior.

(2) En el caso de tanques de pequeña capacidad, la ventilación debe realizarse a través de tubos verticales que terminen en curvas de 180° o dispondrá en su parte superior de una cobertura que impida la entrada de polvo y agua de lluvia.

(3) Para casos de tanques de gran capacidad la ventilación debe ser efectuada a través de cámaras de ventilación, con cubierta adecuada, dotadas de orificios laterales debidamente protegidos.

(4) Los orificios o tuberías para ventilación deben ser protegidos con malla milimétrica para evitar la penetración de insectos y pequeños animales.

(5) La ventilación debe ser dimensionada para un caudal de aire igual al máximo caudal de abastecimiento de agua a la red de distribución.

3.3.10 Acceso de inspección

(1) Cada tanque debe contar por lo menos con una abertura para inspección ubicada en su cubierta, con una dimensión mínima igual a 0,60 m x 0,60 m o igual a la necesaria para posibilitar el paso de equipos o dispositivos previstos en su interior.

(2) Las aberturas de inspección deben quedar situadas junto a una de las paredes verticales y de preferencia en la misma vertical del área donde se situasen: la tubería de ingreso o los equipos o dispositivos existentes en el interior del tanque.

(3) Los bordes de las aberturas para inspección deben situarse por lo menos 5 cm más alto de la superficie de cubierta del tanque.

(4) Las aberturas para inspección deben ser cerradas con una sola tapa, que tendrá un dispositivo de seguridad con llave o candado y debe tener una forma tal que impida la entrada de agua a través de sus juntas.

3.3.11 Indicador de nivel

(1) Los tanques deben ser dotados de un dispositivo indicador de la posición del nivel de agua.

(2) No deben ser empleados dispositivos que sean capaces de dañar la calidad del agua.

3.3.12 Medidor de caudal

(1) Se debe colocar un medidor registrador de caudal en la tubería de salida del tanque, que permita determinar los volúmenes suministrados en forma diaria, así como las variaciones de los caudales.

(2) El medidor de caudal debe ser considerado para poblaciones superiores a 10 000 habitantes. Para poblaciones menores el proyectista debe justificar su uso.

3.3.13 Protección contra la luz natural

(1) No será permitida la entrada de luz natural al interior del tanque de forma permanente a fin de evitar la formación de algas en el interior del mismo.

(2) Cuando fuera necesario iluminar el interior de un tanque, la iluminación debe ser hecha mediante luminarias eléctricas, a prueba de agua y humedad, que serán conectadas a través de cables a tomas existentes en la parte exterior del tanque, con interruptor operable del exterior.

(3) Se dispondrá de iluminación externa cuando corresponda.

3.3.14 Cerco de Protección

(1) Los tanques de almacenamiento deben estar protegidos mediante un cerco o muro con una altura y resistencia necesarias, para evitar el acceso directo de personas no autorizadas o animales.

3.3.15 Escaleras de acceso

(1) Los tanques elevados deben contar con escaleras de acceso provistas con jaula de protección. La escalera permitirá el acceso hasta la losa de cubierta del tanque.

(2) Desde el punto de llegada de la escalera en la parte superior del tanque hasta la abertura de inspección debe existir una protección que limitará la parte en que esté permitido el tránsito sin necesidad de utilización de dispositivos especiales para seguridad personal.

(3) El inicio de la escalera debe hacerse de tal manera que impida el acceso de personas no autorizadas.

(4) El tanque elevado, debe contar con una escalera permanente instalada en su interior.

(5) La parte superior del tanque elevado debe contar con un barandado de protección.

3.3.16 Escaleras interiores

(1) Se proveerán escaleras interiores en caso que la altura del tanque exceda de 1,2 m, con las protecciones necesarias.

(2) Las escaleras en el interior de los tanques, deben tener las siguientes características:

a) Serán verticales y formadas por dos largueros que sustenten los peldaños espaciados 0,30 m como máximo.
b) Los largueros se apoyarán en el fondo y se sujetarán a la losa de cubierta junto a una abertura de inspección.
c) Serán construidas de material resistente a la corrosión, como el aluminio u otros.

3.3.17 Señalización

(1) En la parte superior del tanque elevado deben ser instaladas luces de señalización de obstáculo elevado, conforme a las reglas del Ministerio de Aeronáutica.

(2) En caso necesario se debe considerar también la instalación de pararrayos.

ANEXO “A”
FIGURAS - TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Reglamento Nacional NB 689

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Segunda revisión

Diciembre 2004

ÍNDICE

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES 283
1.1 OBJETO 283
1.2 CAMPO DE APLICACIÓN 283
1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO 283

CAPÍTULO 2
RED DE DISTRIBUCIÓN 284
2.1. DEFINICIÓN 284
2.2 TIPOS DE REDES 284
2.2.1 Red abierta o ramificada 284
2.2.2 Red cerrada o anillada 284
2.2.3 Red mixta o combinada 284
2.3. FORMAS DE DISTRIBUCIÓN 284
2.3.1 Distribución por gravedad 284
2.3.2 Distribución por bombeo directo a la red 284
2.4 INFORMACIÓN NECESARIA 285
2.5 CAUDALES DE DISEÑO 285
2.5.1 Determinación de caudales por nudo 286
2.5.2 Determinación de caudales en redes cerradas 286
2.5.2.1 Método de área unitaria 286
2.5.2.2 Método de densidad poblacional 286
2.5.2.3 Método de longitud unitaria 287
2.5.2.4 Método de la repartición media 287
2.5.2.5 Método del número de familias 287
2.5.3 Determinación de caudales en redes abiertas 287
2.5.4 Caudal en piletas públicas 289
2.6 ÁREA DEL PROYECTO 289
2.7 DELIMITACIÓN DE ZONAS DE PRESIÓN 289
2.8 TRAZADO DE LA RED 289
2.9 PRESIONES DE SERVICIO 289
2.10 VELOCIDADES 291
2.11 DIÁMETROS MÍNIMOS 291
2.12 ANÁLISIS HIDRÁULICO 291
2.12.1 Diseño hidráulico en redes abiertas 292
2.12.2 Diseño hidráulico de redes cerradas 292
2.13 UBICACIÓN DE TUBERIAS 294
2.14 ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN 295
2.15 DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS 295

CAPÍTULO 3
TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN 296
3.1 GENERALIDADES 296
3.2 MATERIALES 296
3.3 ACCESORIOS 297
3.4 ESPECIFICACIONES Y CONTROL DE CALIDAD 297
3.5 PENDIENTES 297
3.6 CÁLCULO HIDRÁULICO Y PÉRDIDAS DE CARGA 297
3.7 PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN 298

CAPÍTULO 4
DISPOSITIVOS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS 300
4.1 TIPO Y UBICACIÓN DE VÁLVULAS 300
4.1.1 Válvulas de control o bloque 300
4.1.2 Válvulas de purga de aire o ventosa 300
4.1.3 Válvulas de limpieza o desagüe 300
4.1.4 Válvulas de retención 301
4.1.5 Válvulas reductoras de presión 301
4.2 MATERIALES DE LAS VÁLVULAS 301
4.3 HIDRANTES 301
4.4 CÁMARA DE VÁLVULAS 301
4.5 MEDIDORES 301
4.6 ESTACIONES REDUCTORAS DE PRESIÓN 302
4.6.1 Válvulas reguladoras de presión 302
4.6.2 Cámaras rompe presión 302
4.7 ANCLAJES 303
4.8 ESTRUCTURAS ESPECIALES 303
4.8.1 Obras de arte 304

CAPÍTULO 5
CONEXIONES DOMICILIARIAS 305
5.1 GENERALIDADES 305
5.2 COMPONENTES MÍNIMOS 305

CAPÍTULO 6
DISTRIBUCIÓN MEDIANTE PILETAS PÚBLICAS 306
6.1 GENERALIDADES 306
6.2 UBICACIÓN 306
6.3 COMPONENTES 306
6.3.1 Plataforma 306
6.3.2 Estructura de apoyo 306
6.3.3 Tubería de servicio 307
6.3.4 Válvula y medidor 307
6.4 Capacidad de la descarga 307

ANEXOS

ANEXO “A”
FIGURAS - REDES DE DISTRIBUCIÓN 309

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores del coeficiente K de simultaneidad 288
Tabla 2. Deflexión máxima en tuberías 296
Tabla 3. Profundidad y ancho de zanja 298

PARTICIPANTES

Las Instituciones y profesionales que participaron en la revisión y actualización del presente Reglamento fueron los siguientes:

Alvaro Camacho	Director General de Servicios Básicos VSB
Alcides Franco	Director de Area de Normas y Tecnología VSB
Marco Quiroga	Coordinador General PROAT
Reynaldo Villalba	VSB
Susana Jaramillo	VSB
Frady Torrico	FPS La Paz
Mario Arnez	FPS Cochabamba
Percy Soria Galvarro	UNASBVI Potosí
Jhony Perez	HAM Vinto
Mario Severich	HAM Colcapirhua
Rolando de Chazal	SAGUAPAC
Fernando Trigo	SAGUAPAC
José Díaz	IIS-UMSA
Gregorio Carvajal	IIS-UMSA
Edwin Astorga	IIS-UMSA
Adolfo Mantilla	SED FMC
Heinar Azurduy	PROHISABA
Marcelo Encalada	Fundación SODIS
José Antonio Zuleta	UNICEF
Orlando Ortuño	DA SOC
Rolando Montenegro	COSPHUL

ELABORACIÓN
AGUILAR & ASOCIADOS S.R.L.

Humberto Cáceres	Gerente de Saneamiento Básico
Carlos España	Consultor
Grover Rivera	Consultor
Iván Alvarez	Diseño Gráfico

FINANCIADOR
Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Asdi)

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES

1.1 OBJETO

(1) El presente Reglamento tiene por objeto, fijar parámetros, establecer criterios técnicos y condiciones mínimas, que se deben cumplir en el diseño de redes de distribución de agua, que se utilizan para sistemas de agua potable.

1.2 CAMPO DE APLICACIÓN

(1) Este Reglamento se aplica a nivel nacional para el diseño, ejecución o control de sistemas de agua potable públicos y/o privados.

(2) Es obligatorio el conocimiento y aplicación del Reglamento Técnico de Diseño de Redes de Distribución, por el proyectista, ejecutor, supervisor y fiscalizador de la obra. Sin embargo, se podrán aplicar criterios de diseño, constructivos y métodos de control no especificados en el presente reglamento toda vez que se justifiquen técnicamente ante la Autoridad Competente.

1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

(1) La elaboración del proyecto de redes de distribución comprende las siguientes actividades:

a) Obtener los datos y estudios básicos de diseño.
b) Establecer el tipo de red y forma de distribución.
c) Definir los caudales de diseño.
d) Delimitar el área de proyecto actual y futura.
e) Delimitar las zonas de presión.
f) Seleccionar el material de la tubería.
g) Fijar las presiones, velocidades y diámetros mínimos y máximos.
h) Analizar el sistema de distribución existente (diámetros, longitudes, presiones de trabajo, estados físicos de los materiales, etc.) con el objetivo de su aprovechamiento.
i) Diseñar las tuberías principales y secundarias de la red (trazado de la red).
j) Dimensionar las tuberías de la red.
k) Ubicar y dimensionar los equipos accesorios destinados al funcionamiento y a la operación de la red de distribución (válvulas, hidrantes, medidores y estaciones reductoras de presión).
l) Definir las etapas de ejecución de la red de distribución.
m) Diseñar los detalles constructivos (anclajes, cámaras y estructuras especiales).

CAPÍTULO 2
RED DE DISTRIBUCIÓN

2.1. DEFINICIÓN

(1) La red de distribución es un conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten el suministro de agua a los consumidores de forma constante, con presión apropiada, en cantidad suficiente y calidad adecuada para satisfacer sus necesidades domésticas, comerciales, industriales y otros usos.

2.2 TIPOS DE REDES

2.2.1 Red abierta o ramificada

(1) La red está constituida por tuberías que tienen la forma ramificada a partir de una línea principal.

(2) La red abierta puede aplicarse en poblaciones semidispersas y dispersas o cuando por razones topográficas o de conformación de la población no es posible un sistema cerrado.

2.2.2 Red cerrada o anillada

(1) La red está constituida por tuberías que tienen la forma de circuitos cerrados o anillos.

(2) La red cerrada puede aplicarse en poblaciones concentradas y semiconcentradas mediante redes totalmente interconectadas o redes parcialmente interconectadas.

(3) La red puede estar compuesta por una red de tuberías principales y una red de tuberías secundarias.

2.2.3 Red mixta o combinada

(1) De acuerdo a las características topográficas y distribución de la población, pueden aplicarse en forma combinada redes cerradas y redes abiertas.

2.3. FORMAS DE DISTRIBUCIÓN

2.3.1 Distribución por gravedad

(1) La distribución por gravedad se aplica cuando la obra de captación y/o tanque de almacenamiento se encuentra en un nivel superior a la red de distribución y se garantice presión suficiente en toda la red (véase **Figura A.1** de **Anexo A**).

2.3.2 Distribución por bombeo directo a la red

(1) La distribución por bombeo puede aplicarse cuando la ubicación de la obra de captación o tanque de almacenamiento no garantiza presión suficiente en toda la red, por lo que es necesario utilizar dispositivos y equipos que impulsen el agua a través de la red (véase **Figura A.2** de **Anexo A**).

(2) Con la finalidad de proporcionar un servicio continuo, debe incluirse un sistema de suministro de energía de emergencia.

2.4 INFORMACIÓN NECESARIA

(1) Para el diseño de redes de distribución de agua potable se requiere:

a) La concepción básica del sistema de abastecimiento de agua.
b) Trabajos topográficos de la localidad y sus áreas de expansión, que incluya:

i) Perímetro urbano de la ciudad.
ii) Áreas de expansión previstas en el plan regulador.
iii) Áreas cuyo desarrollo es evidente y no están previstas en el plan regulador.
iv) Áreas en las que está prohibida la ejecución de obras de abastecimiento (parques urbanos, reservas forestales, etc.).
v) Vías de ferrocarril y vehiculares existentes y proyectadas.
vi) Cursos de agua con sus obras de canalización previstas y proyectadas.
vii) Puentes, viaductos y otros pasos de cursos de agua, vías públicas y calles.

c) Urbanizaciones existentes, tipo de pavimentos existentes y futuros.
d) Relevamiento de las partes del sistema de distribución existente, debidamente localizados en planos topográficos.
e) información de componentes de sistemas existentes y otros.

2.5 CAUDALES DISEÑO

(1) La red de distribución debe calcularse para el caudal máximo horario o para el caudal máximo diario más la demanda contra incendios, utilizando para el diseño el mayor valor resultante.

(2) El diseño de la red de tuberías principales debe considerar las distintas etapas del proyecto así como los caudales calculados para cada una de las mismas.

(3) Para el cálculo de la red de distribución se debe considerar la zona actual y futura con sus densidades actuales y aquellas consideradas en los planes reguladores urbanos o establecidas por el proyectista sobre la base de información local.

(4) Para la definición de áreas específicas se deben considerar los siguientes tipos de ocupación de suelo:

a) Áreas residenciales
b) Áreas comerciales
c) Áreas industriales
d) Áreas mixtas

(5) Para la definición de los caudales de distribución se debe tomar en cuenta: los consumidores y los puntos significativos para la lucha contra incendios (en caso necesario).

(6) En áreas con desarrollo no planificado se deben fijar consumos globales a ser atendidos a partir de derivaciones previstas en el sistema de distribución.

(7) La estimación de los consumos debe ser realizada:

a) Mediante el análisis de los datos de medición, en poblaciones con sistema de abastecimiento de agua con consumo medido.

b) Mediante datos de poblaciones próximas considerando el grado de semejanza de las condiciones socioeconómicas, en poblaciones que no dispongan de datos de consumo.

2.5.1 Determinación de caudales por nudo

(1) La determinación de caudales en redes abiertas (véase **Figura A.3** de **Anexo A**) y en redes cerradas (véase **Figura A.4** de **Anexo A**), debe ser realizada como sigue:

2.5.2 Determinación de caudales en redes cerradas

(1) En redes cerradas la determinación de caudales en los nudos de la red principal se realizará por uno de los siguientes métodos:

2.5.2.1 Método de área unitaria

(1) El caudal en el nudo es:

$$Q_i = Q_u * A_i$$

Donde:
Q_i Caudal en el nudo “i” en l/s
Q_u Caudal unitario superficial en l/s-ha

$$Q_u = \frac{Q_t}{A_t}$$

Q_t Caudal máximo horario en l/s
A_t Superficie total del proyecto en ha
A_i Área de influencia del nudo “i” en ha

2.5.2.2 Método de densidad poblacional

(1) El caudal en el nudo es:

$$Q_i = Q_p * P_i$$

Donde:
Qi Caudal en el nudo “i” en l/s
Qp Caudal unitario poblacional en l/s-hab

$$Q_p = \frac{Q_t}{P_t}$$

Qt Caudal máximo horario en l/s
Pt Población total del proyecto en hab
Pi Población de área de influencia del nudo “i” en hab

2.5.2.3 Método de longitud unitaria

(1) El caudal en el nudo es:

$$Q_i = Q_u * L_i$$

Donde:
Q_i Caudal en el tramo “i” en l/s
Q_u Caudal unitario por metro lineal de tubería en l/s-m

$$Q_u = \frac{Q_t}{L_t}$$

Q_t Caudal máximo horario en l/s
L_t Longitud total de tubería en m
L_i Longitud el tramo “i” en m

2.5.2.4 Método de la repartición media

(1) El caudal por nudo debe determinarse utilizando los caudales de los tramos adyacentes.

(2) El caudal de tramos adyacentes debe determinarse con el caudal por tramo, repartiéndolos en partes iguales a los nudos de sus extremos.

(3) El caudal en cada tramo debe determinarse por el método de la longitud unitaria.

2.5.2.5 Método del número de familias

(1) El caudal en el nudo es:

$$Q_n = Q_u * N_{fn}$$

Donde:
Q_n Caudal en el nudo “n” en l/s
Q_u Caudal unitario en l/s-familia

$$Q_u = \frac{Q_t}{N_f}$$

Q_t Caudal máximo horario en l/s
N_f Número total de familias
N_{fn} Número de familias en el área de influencia del nudo “n”.

2.5.3 Determinación de caudales en redes abiertas

(1) Para la determinación de caudales en redes abiertas debe considerarse el número de conexiones:

a) Para redes con más de 30 conexiones debe aplicarse uno de los métodos para redes cerradas.

b) Para redes con menos de 30 conexiones debe determinarse el caudal por ramal, utilizando el método probabilístico o de simultaneidad, basado en el coeficiente de simultaneidad y el número de grifos.

I) El caudal por ramal es:

$$Q_{ramal} = K * \sum Q_g$$

Donde: Q_{ramal} Caudal de cada ramal en l/s
K Coeficiente de simultaneidad
K ≥ 0,20 (véase **Tabla 1**)

$$K = \frac{1}{\sqrt{(x-1)}}$$

x número total de grifos en el área que abastece cada ramal
x >= 2
Qg Caudal por grifo en l/s
Qg ≥ 0,10

Tabla 1. Valores del coeficiente K de simultaneidad

N° de grifos	K	N° de grifos	K
2	1,00	17	0,25
3	0,71	18	0,40
4	0,58	19	0,40
5	0,50	20	0,30
6	0,45	21	0,20
7	0,41	22	0,20
8	0,38	23	0,10
9	0,35	24	0,10
10	0,33	25	0,20
11	0,32	26	0,20
12	0,30	27	0,20
13	0,29	28	0,20
14	0,28	29	0,20
15	0,27	30	0,20
16	0,26	-	-

2.5.4 Caudal en piletas públicas.

(1) En el caso de piletas públicas el caudal debe ser calculado con la siguiente expresión:

$$Q_{pp} = N * \frac{D_c}{24} * C_p * F_u * \frac{1}{E_F}$$

Donde:
- Q_{pp} Caudal máximo probable por pileta pública en l/h
- N Población a servir por pileta. Un grifo debe abastecer a un número máximo de 5 familias (25 personas). Considerando que una pileta puede estar constituida por dos grifos N = 50 personas.
- D_c Dotación promedio por habitante en l/hab-día
- C_p Porcentaje de pérdidas por desperdicio Estas pérdidas son generadas por los usuarios durante los procesos de recolección de agua (manipuleo de recipientes, llenado de los mismos, etc). El coeficiente C_p varía entre 1,10 y 1,40.
- E_f Eficiencia del sistema considerando la calidad de los materiales y accesorios. E_f varía entre 0,7 y 0,9
- F_u Factor de uso, definido como $F_u = 24/t$. Depende de las costumbres locales, horas de trabajo, condiciones climatológicas, etc. Se valúa en función al tiempo real de horas de servicio (t) y puede variar entre 2 a 12 horas.

(2) En ningún caso, el caudal por pileta pública y conexión domiciliaria debe ser menor a 0,10 l/s.

2.6 ÁREA DEL PROYECTO

(1) El área del proyecto debe comprender la población de proyecto y las áreas industriales y comerciales, presentes y resultantes de la expansión futura.

(2) A falta de un plan regulador las áreas de expansión deben ser aquellas que presenten un desarrollo promisor relacionado con factores que estimulen el crecimiento de la región.

(3) El área de proyecto debe ser definida mediante la interrelación de caminos, calles, ríos y otros accidentes geográficos y demarcada en planos cuya escala permita mostrar los accidentes geográficos utilizados para la demarcación.

2.7 DELIMITACIÓN DE ZONAS DE PRESIÓN

(1) La red debe ser subdividida en tantas zonas de presión como fueran necesarias para atender las características topográficas y las condiciones de presión especificadas en el punto 2.9 del presente Reglamento (véase **Figura A.5** y **Figura A.6** de **Anexo A**).

(2) Las presiones estáticas y dinámicas deben estar referidas al nivel de agua máximo y al nivel de agua mínimo del tanque de almacenamiento, respectivamente.

(3) Las presiones en la red de distribución deben estar condicionadas por la ubicación del tanque de almacenamiento.

(4) Áreas ubicadas en zonas altas que requieran mayores presiones deben tener sistemas separados de presión manteniéndose las presiones por medio de bombeo y tanques elevados.

2.8 TRAZADO DE LA RED

(1) Preferentemente deben proyectarse redes cerradas cuando las posibilidades técnicas y económicas lo permitan. La forma y longitud de las mismas debe ceñirse a las características topográficas de la localidad, densidad poblacional y ubicación del tanque de almacenamiento. Se debe contemplar el desarrollo de la localidad para prever las futuras ampliaciones.

(2) La red abierta solo debe aplicarse en poblaciones dispersas y/o nucleadas que presentan desarrollo a lo largo de las vías de acceso a la población, donde los tramos de tuberías para cerrar circuitos resulten muy largos o de escasa utilización.

(3) La red mixta debe ser aplicada en poblaciones nucleadas y que además presentan un desarrollo a lo largo de las vías de acceso.

2.9 PRESIONES DE SERVICIO

(1) Durante el período de la demanda máxima horaria, la presión dinámica mínima en cualquier punto de la red no debe ser menor a:

a) Poblaciones iguales o menores a 2 000 habitantes 5,00 m.c.a.
b) Poblaciones entre 2 001 y 10 000 habitantes 10,00 m.c.a.
c) Poblaciones mayores a 10 000 habitantes 13,00 m.c.a.

(2) Las presiones arriba mencionadas podrán incrementarse observando disposiciones municipales o locales de políticas de desarrollo urbano y según las características técnicas del sistema de distribución.

(3) En el caso de sistemas con tanques de almacenamiento, las presiones deben estar referidas al nivel de agua considerando el nivel de agua mínimo del tanque de almacenamiento.

(4) Las zonas ubicadas en terrenos altos que requieran mayores presiones deben contar con sistemas separados de presión por medio de bombas y/o tanques elevados.

(5) La presión estática máxima en la red, no debe ser superior a los 70 m.c.a. La presión debe estar referida al nivel máximo de agua.

(6) La presión estática máxima permitida en tuberías de distribución será de 50 m.c.a.

(7) Partes de una misma zona de presión podrán presentar presiones estáticas superiores a la máxima y presiones dinámicas inferiores a la mínima, fijadas anteriormente siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

a) El área abastecida con presión estática superior a 50 m.c.a. podrá corresponder hasta el 10% del área de la zona de presión, siempre que no se sobrepase una presión de 60 m.c.a, y hasta el 5% del área de la zona de presión, siempre que no se sobrepase una presión de 70 m.c.a.

b) En Poblaciones de 2 000 a 10 000 habitantes, el área abastecida con presión dinámica inferior a 10 m.c.a. podrá corresponder hasta el 10% del área de la zona de presión, siempre que la presión mínima sea superior a 8 m.c.a., y hasta el 5% del área de la zona de presión, siempre que la presión mínima sea superior a 6 m.c.a.

(8) Cuando la presión sobrepase los límites establecidos máximos se debe dividir la red en zonas que trabajen con diferentes líneas piezométricas, mediante válvulas reguladoras de presión, cámaras rompe presión y/o la instalación de tanques paralelos.

2.10 VELOCIDADES

(1) La velocidad mínima en la red de distribución en ningún caso debe ser menor a 0,30 m/s para garantizar la autolimpieza del sistema.

(2) Para poblaciones pequeñas, se aceptarán velocidades menores, solamente en ramales secundarios.

(3) La velocidad máxima en la red de distribución no debe ser mayor a 2,00 m/s.

(4) A fin de que no se produzcan pérdidas de carga excesivas, debe aplicarse la fórmula de Mougnie para la determinación de velocidades ideales para cada diámetro. Dicha fórmula es aplicable a presiones en la red de distribución de 20 m.c.a. y 50 m.c.a. y está dada por:

$$V = 1{,}5 * (D + 0{,}05)^{0{,}05}$$

Donde: v Velocidad en m/s
D Diámetro de la tubería en m

2.11 DIÁMETROS MÍNIMOS

(1) Los diámetros mínimos de las tuberías principales para redes cerradas deben ser:

a) En poblaciones menores a 2 000 habitantes 1”
b) En poblaciones de 2 001 a 20 000 habitantes 1 1/2”
c) En poblaciones mayores a 20 000 habitantes 2”

(2) En redes abiertas, el diámetro mínimo de la tubería principal debe ser de 1”, aceptándose, en poblaciones menores a 2 000 habitantes, un diámetro de 3/4” para ramales.

2.12 ANÁLISIS HIDRÁULICO

(1) El diseño hidráulico de las redes, puede ser realizado por una de las siguientes fórmulas: Flamant, Darcy Weisbach, Hazen Williams u otros justificados técnicamente.

(2) Siempre y cuando las posibilidades técnicas y económicas lo permitan, deben diseñarse redes cerradas.

2.12.1 Diseño hidráulico en redes abiertas

(1) En el dimensionamiento de las tuberías de redes abiertas deben considerarse los siguientes aspectos:

a) La distribución del caudal es uniforme a lo largo de la longitud de cada tramo.
b) La pérdida de carga en el ramal debe ser determinada para el caudal del tramo.
c) Los caudales puntuales (escuelas, hospitales, etc.) deben ser considerados como un nudo.

(2) Para el cálculo de ramales debe considerarse un caudal mínimo de 0,10 l/s.

2.12.2 Diseño hidráulico de redes cerradas

(1) Para el dimensionamiento de las tuberías de redes cerradas se deben considerar los siguientes aspectos:

a) El caudal total que llega al nudo debe ser igual al caudal que sale del mismo.
b) La pérdida de carga entre dos puntos por cualquier camino es siempre la misma.

(2) En las redes cerradas se podrán considerar los siguientes errores máximos:

a) 0,10 m.c.a. de pérdida de presión como máximo en cada malla y/o simultáneamente debe cumplirse en todas las mallas.
b) 0,10 l/s como máximo en cada malla y/o simultáneamente en todas las mallas.

(3) Las redes cerradas no deben tener anillos mayores a 1 km por lado.

(4) Preferentemente las pérdidas de carga en tuberías principales y secundarias deben estar alrededor de 10 m/km.

(5) Para el análisis hidráulico de una red de distribución cerrada pueden utilizarse uno de los siguientes métodos:

a) Método de Hardy Cross.
b) Método de Newton-Raphson.
c) Método matricial.
d) Otros métodos equivalentes.

a) Método de Hardy-Cross

i) Es un método de aproximaciones sucesivas por el cual se realizan correcciones sistemáticas a los caudales originalmente asumidos (caudales de tránsito por las tuberías) hasta que la red se encuentre balanceada.

ii) Cuando se emplee la fórmula de Hazen-Williams para el cálculo de pérdidas de carga en las tuberías, el factor de corrección del caudal para cada malla está dado por:

$$q = \frac{\sum_j}{1{,}85 * \sum \alpha * L * Q^{0{,}85}}$$

Donde:
- q Variación de caudal en m^3/s
- J Pérdida de carga en m/m
- L Longitud de la tubería en m
- Q Caudal que pasa por la tubería en m^3/s
- α Coeficiente de Coriolis (aproximadamente = 1)

$$\alpha = \frac{1}{0{,}2788 * C * D^{2{,}63}}$$

- C Coeficiente de rugosidad de la tubería de Hazen-Williams
- D Diámetro de la tubería en m

b) Método de Newton-Raphson

i) Para resolver el sistema de ecuaciones no lineales se puede ultilizar la siguiente expresión:

$$Q^{k+1} = \alpha^k (h_s^{k+1} - h_i^{k+1}) + \frac{1}{2} Q^k$$

Donde:
- Q Caudal en l/s
- hs, hi Elevación respecto al plano horizontal de referencia para los puntos “s” e “i”, respectivamente en m
- α Coeficiente de Coriolis (aproximadamente = 1)

$$\alpha^k = \frac{1}{2 * C * Q^k}$$

k = Número de iteración

(6) La rugosidad uniforme equivalente toma en cuenta su dependencia con relación a los materiales de la tubería, y tiempo de servicio de las tuberías. Además deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

a) El número de conexiones existentes en la red.
b) Sedimentación de partículas en diferentes sectores de la red.
c) Cambio del sentido de escurrimiento en tramos de la red en circuito cerrado.

(7) Para redes ramificadas y en circuitos cerrados la rugosidad uniforme equivalente no debe ser menor a 10^{-3} m para redes nuevas y $3 * 10^{-3}$ para redes existentes.

(8) Cada punto singular debe corresponder a una parte del área a ser abastecida por la red de distribución.

2.13 UBICACIÓN DE TUBERÍAS

(1) En poblaciones dispersas no urbanizadas, la red de distribución debe ubicarse, en lo posible, lo más próxima a las viviendas para facilitar la conexión.

(2) En redes cerradas las tuberías de la red de distribución pueden ubicarse en los costados Sur y Este de las calles a 1,00 m del cordón de la acera o a un tercio de la calzada.

(3) Debe colocarse doble tubería en una calle, cuando:

a) El ancho de la vía es mayor a 18 m.
b) Existe intenso tráfico de vehículos de alto tonelaje.
c) El costo de reposición de pavimento de las conexiones domiciliarias fuese más caro que la construcción de red doble.

(4) La separación entre tuberías de agua potable y alcantarillado debe ser de 1,50 m en planta, debiendo colocarse la tubería de agua potable a 0,30 m como mínimo por encima de la del alcantarillado.

(5) Las tuberías principales deben ser ubicadas en vías existentes, próximas a las áreas donde debe ser previsto el abastecimiento de agua para lucha contra incendios, y tan próximo como sea posible a consumidores especiales.

(6) Si es necesaria la instalación de tuberías principales en nuevas vías, la institución responsable debe ser la encargada de posibilitar la apertura de las mismas.

(7) Las tuberías principales deben formar circuitos cerrados siempre que:

a) El área a ser atendida fuera superior a 1 km^2
b) La distancia media entre dos tuberías dispuestas según un trazado paralelo fuera igual a 250 m.
c) La distancia media entre las tuberías que se localizan junto a la periferie del área abastecible y/o el perímetro del área abastecible fuera igual o superior a 150 m.
d) Fueran así exigidas por la entidad contratante.
e) Se pretenda una mayor seguridad de continuidad en el abastecimiento.
f) El caudal máximo previsto para abastecer el área contenida en el circuito cerrado fuese igual o mayor a 25 l/s.

(8) La longitud máxima de las tuberías secundarias debe ser de 300 m cuando son alimentadas por un solo extremo y de 600 m cuando son alimentadas por dos extremos.

(9) Las tuberías secundarias podrán formar una red en malla, mediante la unión de las mismas en los puntos de cruce, o podrán ser independientes entre sí, sin unión en los puntos de cruce, cuando su alimentación fuera prevista a través de ambas extremidades.

(10) Las tuberías principales con diámetro superior a 400 mm no serán utilizadas para la inserción de conexiones domiciliarias.

(11) A lo largo de los tramos con diámetro superior a 400 mm debe instalarse una tubería secundaria con diámetro igual al mínimo previsto en el punto 2.11 del presente reglamento, la que servirá como tubería distribuidora.

2.14 ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN

(1) El proyecto elaborado de acuerdo al período de diseño establecido debe permitir la construcción de la red por etapas.

(2) Deben definirse obras mínimas que corresponden a cada etapa a fin que la red satisfaga las condiciones para las cuales fue prevista.

(3) No deben ser consideradas etapas de construcción las obras de expansión de la red que son ejecutadas en forma continua durante el periodo de la validez del proyecto con el fin de atender el incremento gradual de la población abastecida.

2.15 DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS

(1) Debe definirse la posición de todos los tramos de la red tomando en cuenta las condiciones particulares de las vías donde los tramos son instalados.

(2) Cuando existan obstáculos que interfieren la construcción de la red, deben estudiarse las formas para salvar las interferencias presentando detalles de la solución adoptada.

(3) Deben presentarse todos los detalles constructivos del cruce de avenidas, ríos y valles cuando éstos no fuesen enterrados.

CAPÍTULO 3
TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN

3.1 GENERALIDADES

(1) El tipo de tuberías de distribución, materiales, juntas, y apoyos deben ser adecuados a la forma de instalación, garantizando la estanqueidad del conducto y su estabilidad.

(2) Se deben aceptar deflexiones en las juntas de las tuberías, cuando las tuberías formadas por segmentos rectos son flexibles.

(3) La deflexión de cada junta a excepción de las juntas con características especiales, es función del diámetro y no debe ser mayor a lo especificado en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Deflexión máxima en tuberías

Diámetro de la tubería (mm)	Deflexiones (grados – minutos)
100	3° 0’
150	3° 0’
200	3° 0’
250	3° 0’
300	3° 0’
400	2° 40’
450	2° 25’
500	2° 10’
600	1° 45’
750	1° 25’
900	1° 10’
1000	1° 5’

3.2 MATERIALES

(1) La elección del material debe ser realizada sobre la base de las características topográficas y agresividad del suelo al material de la red, velocidades de escurrimiento, presiones máximas y mínimas que se deseen lograr, análisis económico, costos de mantenimiento y todos los aspectos especificados en la Norma correspondiente.

(2) El sistema de distribución puede estar constituido por tramos de diferente tipo de materiales, elegidos de acuerdo a su funcionamiento, operación y mantenimiento, condiciones de implementación en el terreno y esfuerzos actuantes.

(3) En la transición de los tramos de diferentes materiales debe disponerse elementos especiales destinados a posibilitar la unión de los tramos, impidiendo pérdidas de carga o generación de esfuerzos o cualquier fenómeno capaz de perjudicar el sistema.

(4) Para tuberías de distribución pueden utlilizarse en FF, FFD, FG, PVC o PEAD de acuerdo a las características particulares de cada proyecto y de los factores económicos.

(5) Las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de materiales utilizados en tuberías de distribución a presión se especifican en el Reglamento Técnico de Válvulas, Tuberías y Accesorios para Sistemas de Agua Potable.

(6) La elección del material de la tubería debe ser realizada de acuerdo a lo especificado en el Reglamento Técnico de Válvulas, Tuberías y Accesorios para Sistemas de Agua Potable.

3.3 ACCESORIOS

(1) Los accesorios (uniones, codos, tees, reducciones, válvulas, anclajes, etc.), elementos importantes complementarios a la instalación de tuberías, deben ser compatibles entre sí, en lo que se refiere a presiones de trabajo, dimensiones (diámetros, espesores, sistemas de unión) y estabilidad electroquímica si se trata de materiales diferentes.

3.4 ESPECIFICACIONES Y CONTROL DE CALIDAD

(1) Las especificaciones técnicas de las tuberías de distribución y accesorios deben cumplir los requerimientos de la Norma Boliviana correspondiente.

(2) Asimismo, los proveedores deben presentar la certificación de control de calidad otorgado por el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) y la certificación de su utilización en trabajos exitosos y de importancia.

3.5 PENDIENTES

(1) Con el objeto de permitir la acumulación del aire en los puntos altos y su eliminación por las válvulas ventosa y facilitar el arrastre de sedimentos hacia los puntos bajos para el desagüe de las tuberías, éstas no deben colocarse en forma horizontal.

(2) Las pendientes mínimas deben ser:

a) i = 0,04%, cuando el aire circula en el sentido de escurrimiento del agua.
b) i = 0,10% a 0,15%, cuando el aire circula en el sentido contrario al escurrimiento del agua.

(3) En este último caso la pendiente de la tubería no debe ser menor que la pendiente de la línea píezométrica de ese tramo.

(4) Cuando se considere necesario uniformar pendientes a costa de mayor excavación a efectos de evitar un gran número de válvulas de aire y cámaras de limpieza, debe realizarse una comparación económica de ambas variantes.

3.6 CÁLCULO HIDRÁULICO Y PÉRDIDAS DE CARGA

(1) Se debe efectuar el estudio hidráulico del escurrimiento para determinar si las tuberías trabajan como canal o a presión, lo que dependerá de las características topográficas de la zona y del diámetro del conducto. No se admiten presiones negativas.

(2) Para el cálculo hidráulico y la determinación de pérdidas de carga en tuberías a presión se pueden utilizar las fórmulas, que se detallan en el Capítulo 3.5.8, del Reglamento Técnico de Aducciones de Agua para Sistemas de Agua Potable.

3.7 PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN

(1) En todos los casos las tuberías de distribución deben ser enterradas, independientemente del material utilizado a excepción de las estructuras especiales.

(2) La profundidad mínima a la cual debe instalarse la tubería de la red de distribución debe ser 0,80 m medida desde la rasante del terreno hasta la clave de la tubería. En aquellos casos en que exista o se prevea volumen alto de tráfico o tráfico de vehículos de alto tonelaje, la profundidad mínima deberá ser de 1,00 m desde la clave de la tubería.

(3) Cuando las tuberías pasen por debajo de carreteras o vías férreas o tengan que cruzar ríos o arroyos se deben proyectar estructuras especiales y obras de protección que garanticen la seguridad de la tubería.

(4) En área rural la profundidad mínima de la tubería debe ser 0,60 m, medida desde la rasante del terreno hasta la clave de la tubería.

(5) La profundidad a la cual debe instalarse la tubería de la red de distribución debe ser realizada de acuerdo a lo especificado en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Profundidad y ancho de zanja

	Ancho de zanja (m) (1)	Ancho de Zanja (m)		Recomendación
		ϕ = 12,7 a 76 mm (2)	ϕ = 100 a 200 mm (2)	
Calles área rural	0,60	0,40	0,50	En lugares donde la temperatura del ambiente es menor a 5°C debe incrementarse a profundidad según la cota del nivel freático
Áreas de cultivo y calles con tráfico liviano	0,80	0,60	0,70	
Calles con tráfico pesado	1,00	0,60	0,70	

(1) Profundidad medida desde la clave de la tubería
(2) El diámetro de la tubería corresponde a diámetro nominal

(6) En el caso de suelos rocosos e inestables, el ingeniero proyectista debe establecer las medidas de protección necesarias (revestimiento de hormigón simple, anclajes de hormigón y otros).

(7) Cuando por la naturaleza del terreno, es necesario colocar la tubería muy próxima a la superficie, deben preverse los elementos de protección que aseguren que la misma no será sometida a esfuerzos o deformaciones que puedan provocar roturas o afectar su funcionamiento normal.

CAPÍTULO 4
DISPOSITIVOS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS

4.1 TIPO Y UBICACIÓN DE VÁLVULAS

(1) La red de distribución debe estar provista de válvulas destinadas a interrumpir, controlar o regular el flujo de agua en la tubería. Para ello se deben considerar los diferentes tipos de válvulas:

4.1.1 Válvulas de control o bloque

(1) Deben utilizarse para aislar tramos o zonas de abastecimiento, en las intersecciones de redes principales cuyo desarrollo no debe sobrepasar:

a) 1500 m en poblaciones menores y de baja densidad (menor a 250 hab/ha).
b) 800 m en poblaciones con densidad mayor a 250 hab/ha.

(3) Debe colocarse una válvula en los puntos en que exista un ramal de derivación importante.

(4) Deben ser elegidas sobre la base del propósito buscado y al diámetro de la tubería donde serán instaladas.

(5) En poblaciones rurales menores a 2 000 habitantes puede proveerse solo una válvula de entrada a la red de distribución, excepto en los casos en las que se tenga, que definir area de consumo o zóna de presión diferenciada.

(6) En este grupo de válvulas están: Válvulas de compuerta, de mariposa y de esfera.

4.1.2 Válvulas de purga de aire o ventosa

(1) El uso de válvulas de purga de aire o ventosa debe seguir lo especificado en Capítulo 5 del Reglamento Técnico de Diseño de Aducciones para Sistemas de Agua Potable.

4.1.3 Válvulas de limpieza o desagüe

(1) Deben utilizarse en los puntos bajos de la red. En los puntos terminales más bajos deben disponerse de válvula de purga. El número de las mismas debe ser definida por el proyectista de acuerdo a las caracteristicas topógraficas del terreno.

(2) La descarga debe permitir la eliminación de toda el agua contenida en la tubería.

(3) La instalación debe realizarse a través de una tubería que tenga el mismo diámetro de la tubería de distribución, pudiendo disminuir a través de una reducción excéntrica de manera que se permita la total evacuación hasta el punto de descarga alejado del trazado.

(4) El diámetro de la tubería debe estar entre 1/3 al diámetro de la tubería principal, con un mínimo de 75 mm para tuberías mayores a 100 mm. Para dimensiones menores se debe adoptar el mismo diámetro de la tubería principal.

(5) Donde existan válvulas de purga deben diseñarse obras necesarias para su adecuado desagüe.

4.1.4 Válvulas de retención

(1) Deben colocarse en las tuberías de distribución por bombeo (líneas de impulsión) a efecto de evitar el retroceso del agua, con el consiguiente vaciado del conducto y posibles daños a las bombas.

4.1.5 Válvulas reductoras de presión

(1) Estas válvulas reducen automáticamente la presión de agua debajo de la misma, hasta un valor prefijado admisible para instalaciones aguas abajo. Deben utilizarse en función a los requerimientos de la red de distribución para cumplir con lo establecido en el punto 2.9.

4.2 MATERIALES DE LAS VÁLVULAS

(1) Los materiales de los que se hallan constituidos las válvulas (cuerpo y mecanismos de cierre) deben cumplir con las especificaciones técnicas establecidas en el Reglamento Técnico de Válvulas, Tuberías y Accesorios para Sistemas de Agua Potable, en función de las características del agua (grado de agresividad) y de las presiones de servicio requeridas.

4.3 HIDRANTES

(1) Los hidrantes para combatir incendios deben instalarse en tuberías de un diámetro mínimo de 75 mm. Deben ubicarse de acuerdo a un estudio específico, con preferencia en lugares próximos a establecimientos públicos e industriales vulnerables a los incendios, a una distancia entre ellos no mayor a 500 m, para poblaciones de 10 000 habitantes a 100 000 habitantes y no mayor a 1 000 m, para poblaciones mayores a 100 000 habitantes.

(2) Deben ubicarse en puntos estratégicos, esquinas o intersección de calles y sobre la acera, acordados con el municipio y el cuerpo de bomberos, y estar provisto de una señalización en la que se incluya el diámetro de la tubería a la cual esta conectado el hidrante y la distancia respecto a la señalización.

(3) Cada hidrante debe llevar su propia válvula para aislarlo de la red.

4.4 CÁMARA DE VÁLVULAS

(1) Todas las válvulas deben contar con una cámara para fines de protección, operación y mantenimiento.

(2) Las dimensiones de la cámara deberán permitir la operación de herramientas y otros dispositivos alojados dentro de la misma.

4.5 MEDIDORES

(1) Se distinguen los medidores domiciliarios o micromedidores y los medidores de alto caudal o macromedidores.

(2) Los micromedidores se deben utilizar en los siguientes casos:

a) Cuando el sistema de abastecimiento es mediante bombeo
b) Cuando existan limitaciones de la fuente de agua
c) En los lugares donde exista uso del agua para otros fines como son la ganadería, agricultura e industria.

d) Cuando no exista presencia de sólidos suspendidos.
e) Cuando la población beneficiaria tiene capacidad para la operación y mantenimiento de los medidores.

(3) La instalación de macromedidores debe considerarse en poblaciones mayores a 2000 habitantes a fin de disponer de datos de control para evaluar consumos y pérdidas en la red.

(4) Los puntos de medición del caudal entregado deben estar situados aguas abajo de las plantas de tratamiento de agua y aguas arriba de cualquier salida a los usuarios.

(5) Los macromedidores deben estar ubicados aguas arriba de los tanques de distribución teniendo en cuenta la necesidad de contabilizar el rebosamiento de los mismos y también para utilizarlos en las operaciones de rutina del sistema de abastecimiento de agua.

(6) En el caso de redes correspondientes a zonas de abastecimiento bien diferenciadas y que puedan aislarse por medio de una o dos tuberías de alimentación, debe estudiarse la posibilidad de instalar sistemas de macromedición en las tuberías indicadas.

4.6 ESTACIONES REDUCTORAS DE PRESIÓN

(1) Las válvulas reductoras de presión se deben utilizar con el fin de reducir la altura de presión hasta un valor menor y establecer un nuevo nivel estático.

(2) Deben emplearse cuando la calidad de las tuberías, válvulas y accesorios no permiten soportar altas presiones.

(3) Deben emplearse para mantener las presiones máximas de servicio en una red de distribución dentro de los límites admisibles de presión.

(4) Las estaciones reductoras de presión se basan en el uso de válvulas reductoras de presión y cámaras rompe presión que alcanzan igualar la presión atmosférica correspondiente.

4.6.1 Válvulas reguladoras de presión

(1) Producen una pérdida de carga predeterminada para controlar la presión manteniéndola constante, independientemente del caudal que pasa a través de ella.

(2) Deben ser instaladas en una bifurcación de la línea, para permitir el funcionamiento de la instalación en caso de avería y/o mantenimiento de una de ellas, con la correspondiente válvula de cierre, filtros, manómetros, etc.

(3) Deben ser dispuestas en cámaras de inspección que brinden un acceso adecuado para las actividades de montaje, operación y mantenimiento.

4.6.2 Cámaras rompe presión

(1) Para la construcción de cámaras rompe presión en redes de distribución debe preverse la instalación de un flotador o regulador de nivel de aguas para el cierre automático, una vez que se encuentre llena la cámara y para periodos de ausencia de flujo.

(2) Las cámaras rompe presión deben cumplir también las especificaciones del Reglamento Técnico de Diseño para Sistemas de Aducción, destinados a abastecimientos de agua potable.

4.7 ANCLAJES

(1) Son dispositivos de seguridad que deben ser de hormigón ciclópeo, armado o simple. De manera de garantizar su inamovilidad.

(2) Deben emplearse en los siguientes casos:

a) En todo cambio de dirección (codos) horizontales y verticales de tramos enterrados y expuestos, cuando el cálculo estructural lo exige.

b) En puntos de disminución de diámetro, dispositivos para el cierre o reducción del flujo de conductos discontinuos.

(3) Para el cálculo de los anclajes debe tomarse en cuenta el efecto equilibrante del terreno siempre y cuando se tenga plena certeza de su permanencia. Para efectos de estabilidad del empuje pasivo del terreno adyacente se debe considerar hasta un máximo de 1,00 N/cm^2.

4.8 ESTRUCTURAS ESPECIALES

(1) Cuando las tuberías de distribución crucen carreteras, vías férreas, ríos o arroyos, u otros obstáculos naturales se deben proyectar estructuras especiales que garanticen la seguridad de la tubería. Deben ser concebidas para absorber las cargas y otros esfuerzos resultantes de la colocación de la tubería.

(2) Estas estructuras deben ser metálicas, de madera, de hormigón (simple, ciclópeo o armado) u otros y conformar puentes, pasos colgantes y otros.

(3) Toda la estructura especial debe contar con el respectivo cálculo estructural y análisis de costos.

(4) Para el dimensionamiento de las estructuras de las tuberías deben considerarse los siguientes esfuerzos combinados o separados:

a) Presiones internas.
b) Cargas externas.
c) Peso propio y peso del agua transportada.
d) Esfuerzos producidos por el cambio de dirección, de contracciones y de dispositivos para el cierre de los conductos.
e) Esfuerzos resultantes de las variaciones de temperatura.

(5) Las cargas externas que actúan sobre conductos enterrados deben ser determinadas según las normas propias o, a falta de estas, las especificaciones de los fabricantes de la tubería.

(6) Los esfuerzos en la instalación de tuberías sobre apoyos discontinuos deben ser resultantes del peso propio del conducto, peso del agua contenida en el conducto, cargas externas presentes y, donde sea aplicable, variaciones de temperatura.

4.8.1 Obras de arte

(1) Las obras de arte tales como sifones, cruces de carreteras, vías férreas o estructuras para salvar pasos de ríos, quebradas o depresiones del terreno, deben proyectarse de forma que garanticen la durabilidad, permanencia y buen funcionamiento de las obras.

(2) En caso de atravesar vías de ferrocarril, rutas nacionales o provinciales, se deben acompañar los detalles de obra de acuerdo con lo exigido por los organismos afectados.

CAPÍTULO 5
CONEXIONES DOMICILIARIAS

5.1 GENERALIDADES

(1) El proyecto de redes de distribución debe incluir también las conexiones domiciliarias tipo (véase **Figura A.7** de **Anexo A**), acorde a las características urbanas de la población.

(2) Para diseño y dimensionamiento deben considerarse los distintos tipos de usuarios y las presiones disponibles en la red.

(3) Debe tenerse en cuenta la disponibilidad de materiales locales.

(4) El diseño y elección de los tipos de conexión deben tratar de lograr el uso del número de piezas especiales, garantizando la posibilidad de operación y mantenimiento adecuados.

(5) En caso de preverse la colocación de medidores, debe tenerse en cuenta la pérdida de carga considerando el caudal real de la conexión domiciliaria y la curva pérdida de carga - caudal del medidor.

5.2 COMPONENTES MÍNIMOS

a) Sistema de conexión a la tubería de distribución.
b) Tubería de conexión.
c) Válvula de cierre antes y después del medidor.
d) Medidor de caudales.
e) Accesorios y piezas de unión que posibiliten y faciliten su instalación.
f) Caja de protección del sistema de medición y control con su cierre correspondiente.

CAPÍTULO 6
DISTRIBUCIÓN MEDIANTE PILETAS PÚBLICAS

6.1 GENERALIDADES

(1) En la distribución y diseño de las piletas públicas se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

a) Trazado del esquema de la red.
b) Ubicación de las piletas públicas.

(2) El diseño de la pileta pública debe ceñirse a las costumbres y circunstancias locales tales como la disponibilidad de material y equipo.

6.2 UBICACIÓN

(1) Las piletas públicas deben estar ubicadas lo más cerca al mayor número posible de viviendas. Deben ser fácilmente accesibles a los usuarios y estar protegidas del tráfico vehicular.

(2) La distancia a la vivienda más lejana no debe exceder los 200 m.

6.3 COMPONENTES

(1) La pileta pública debe estar compuesta de los siguientes elementos:

6.3.1 Plataforma

(1) La plataforma debe construirse con materiales resistentes e impermeables hormigón o mampostería. Debe elevarse por lo menos 0,10 m por encima del nivel del suelo y asegurar un desagüe óptimo y una pendiente en dirección opuesta a los grifos.

(2) La pendiente de la plataforma debe estar comprendida entre 2% a 5%.

(3) Las aguas residuales deben ser sanitariamente dispuestas o reutilizadas en irrigación, bebida de ganado o piscicultura.

6.3.2 Estructura de apoyo

(1) La estructura de apoyo debe ser construida de forma resistente y sólida. La tubería debe ser insertada en una columna de ladrillo o de hormigón de 0,03 m^2 como mínimo. La estructura de apoyo debe extenderse 0,10 m por encima de los grifos para su protección.

(2) De acuerdo a las costumbres de la población se puede construir una o varias bases elevadas para la colocación de baldes y recipientes.

(3) Con el propósito de reducir las pérdidas de agua, la distancia entre el grifo y el borde del recipiente más usual, debe ser como máximo 0,30 m.

6.3.3 Tubería de servicio

(1) La tubería de servicio o de abastecimiento de agua debe ser de FG o PVC, sin embargo las tuberías de PVC se utilizaran solo en aquellos lugares donde van a estar cubiertas.

(2) El diámetro de la tubería de alimentación depende de la capacidad de descarga necesaria, del tipo y número de grifos que tenga la pileta pública y de la presión disponible del agua. Debe estar entre 1/2" a 1".

(3) La tubería de servicio debe seguir la ruta más directa.

6.3.4 Válvula y medidor

(1) La válvula principal o llave de paso debe instalarse en un punto que pueda protegerse mediante chapa o candado.

(2) Los medidores de agua podrán dar información muy importante para los caudales sobre el consumo y desperdicio de agua, para los cálculos de consumo futuro. Dicha información debe servir también para establecer el pago justo que se debe efectuar por el agua utilizada.

(3) Los medidores deben utilizarse cuando sirvan a un propósito definido y se disponga del personal capacitado para el mantenimiento regular de un taller.

(4) Cada medidor debe estar colocado en una caja que pueda ser cerrada con llave.

6.4 Capacidad de la descarga

(1) La capacidad de la descarga debe ser estimada de acuerdo a lo especificado en el presente reglamento.

a) Población de diseño, debe ser estimada sobre la base de datos estadísticos y a los índices de crecimiento propios de la zona para el año horizonte del proyecto.

b) Demanda per cápita, debe fluctuar entre 20 y 60 l/hab-d. Para establecer una cifra exacta se deben estudiar las costumbres locales. Deben preverse los incrementos futuros de las demandas.

c) Factor de demanda, considera la mayor demanda a determinadas horas del día y está dada por la relación entre la demanda máxima y la demanda promedio. El sistema debe tener la capacidad de satisfacer dicha demanda máxima. Este factor debe ser tomado entre 2 y 3 y debe ser fijado previo análisis; ya que el mismo ejerce una influencia considerable sobre la capacidad de descarga máxima.

d) Número de piletas públicas, se calcula basándose en la distancia máxima de camino a pie hasta la pileta pública y el número máximo de usuarios por grifo. La distancia máxima de camino a pie no debe ser mayor a 200 m. En áreas escasamente pobladas esta distancia puede incrementarse a 500 m. El número máximo de usuarios por pileta pública debe estar entre 100 a 250 habitantes y en ningún caso superior a 350 habitantes.

e) Factor de desperdicio, es la relación de la cantidad de agua que los usuarios sacan en realidad y la cantidad de agua que sale del grifo. Este factor depende de la forma en que son llenados, del tipo y condición de los grifos, de la altura de ubicación de éstos, de la presión de agua y del grado de supervisión de la pileta pública durante su uso. El factor de desperdicio debe estar comprendido entre 0,10 a 0,30.

f) Factor de eficiencia, toma en cuenta el rendimiento de un grifo y se basa en la descarga continua de un grifo completamente abierto a una presión de 10 m.c.a. En la práctica el grifo no estará completamente abierto y la presión no será exactamente igual a 10 m.c.a.

(2) El tipo de grifo determina el factor de eficiencia: para una válvula de globo es 1,00, para un grifo común de tornillo de 0,8 a 0,9 y para un grifo a presión 0,70.

ANEXO “A”
FIGURAS - REDES DE DISTRIBUCIÓN

ANEXO “B”
SIMBOLOS GRÁFICOS

Reglamento Nacional NB 689

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

REGLAMENTO TÉCNICO DE VÁLVULAS, TUBERÍAS Y ACCESORIOS PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Segunda revisión

Diciembre 2004

ÍNDICE

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES 323
1.1 OBJETO 323
1.2 CAMPO DE APLICACIÓN 323

CAPÍTULO 2
VÁLVULAS 324
2.1 DEFINICIÓN 324
2.2 GENERALIDADES 324
2.3 ESPECIFICACIÓN DE VÁLVULAS 324
2.4 CLASIFICACIÓN 324
2.4.1 Válvulas de bloqueo 324
2.4.1.1 Válvulas de compuerta 325
2.4.1.2 Válvulas mariposa 325
2.4.1.3 Válvulas aguja 325
2.4.1.4 Válvulas de esfera o de bola 325
2.4.2 Válvulas de estrangulamiento 325
2.4.2.1 Válvulas de globo 326
2.4.2.2 Válvulas de aguja 326
2.4.2.3 Válvulas en Y 326
2.4.2.4 Válvulas de ángulo 326
2.4.2.5 Válvulas de mariposa 326
2.4.3 Válvula de retención (check) 326
2.4.3.1 Válvulas de pie 327
2.4.4 Válvulas de regulación y control 327
2.4.4.1 Válvulas de flotador 327
2.4.4.2 Válvulas reductoras de presión 327
2.4.4.3 Válvulas limitadoras de caudal 328
2.4.4.4 Válvula de control 328
2.4.5 Válvulas de protección 328
2.4.5.1 Válvulas de alivio (o desahogo) de presión 328
2.4.5.2 Válvula de protección contra golpe de ariete 329
2.4.5.3 Válvula de aire (ventosa) 329
2.4.6 Otros tipos de válvulas 329
2.4.7 Caída de presión en válvulas 330

CAPÍTULO 3
TUBERÍAS Y ACCESORIOS 332
3.1 DEFINICIÓN 332
3.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL 332
3.3 ESPECIFICACIONES Y CONTROL DE CALIDAD 333

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de válvulas más empleadas 330
Tabla 2. Ventajas y desventajas de las tuberías para el abastecimiento de agua potable 332

PARTICIPANTES

Las Instituciones y profesionales que participaron en la revisión y actualización del presente Reglamento fueron los siguientes:

Alvaro Camacho	Director General de Servicios Básicos VSB
Alcides Franco	Director de Area de Normas y Tecnología VSB
Marco Quiroga	Coordinador General PROAT
Enrique Torrico	VSB
Susana Jaramillo	VSB
Marco Reyes	FPS La Paz
Marco Ocampo	UNASBVI Potosí
Juan Carlos Guzmán	HAM Cochabamba
Rolando de Chazal	SAGUAPAC
Fernando Trigo	SAGUAPAC
Carlos Guardia	SEMAPA
José Díaz	IIS-UMSA
Orlando Ortuño	DASOC
Rolando Montenegro	COSPHUL

ELABORACIÓN
AGUILAR & ASOCIADOS S.R.L.

Humberto Cáceres	Gerente de Saneamiento Básico
Carlos España V.	Consultor
Grover Rivera B.	Consultor
Iván Alvarez	Diseño Gráfico

FINANCIADOR
Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Asdi)

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES

1.1 OBJETO

(1) El presente Reglamento tiene por objeto, establecer los criterios técnicos y condiciones mínimas, que se deben cumplir para el uso de válvulas, tuberías y accesorios, que se utilizan para el diseño de sistemas de agua potable.

1.2 CAMPO DE APLICACIÓN

(1) Este Reglamento se aplica a nivel nacional para el diseño, ejecución o control de sistemas de agua potable públicos y/o privados.

(2) Es obligatorio el conocimiento y aplicación del Reglamento de Válvulas, Tuberías y Accesorios, por el proyectista, ejecutor, supervisor y fiscalizador de la obra. Sin embargo, se podrán aplicar criterios de diseño, constructivos y métodos de control no especificados en el presente reglamento toda vez que se justifiquen técnicamente ante la Autoridad Competente.

CAPÍTULO 2
VÁLVULAS

2.1 DEFINICIÓN

(1) Las válvulas son dispositivos mecánicos destinados a interrumpir, controlar o regular el movimiento de un fluido dentro de una conducción a presión.

2.2 GENERALIDADES

(1) Las válvulas serán utilizadas en obras de toma, aducción, tuberías de succión e impulsión y en redes de distribución.

(2) Las válvulas deben ser utilizadas para aislar equipos, instrumentos y componentes de la tubería (coladores, filtros, entre otros.) o de un sistema (de tratamiento, aducción, almacenamiento, distribución).

(3) Los materiales de los que se hallan constituidas las válvulas, tanto en el cuerpo como en los mecanismos de cierre, deben cumplir con Normas Nacionales y especificaciones técnicas reconocidas internacionalmente, en función de las características del agua (grado de agresividad), así como de las presiones de servicio requeridas.

2.3 ESPECIFICACIÓN DE VÁLVULAS

(1) Al efectuar la selección de válvulas se debe especificar la siguiente información:

a) Tipo de válvulas, tamaños, fabricantes y número de modelos de fabricantes.
b) Capacidades de presión y temperatura de trabajo. de las válvulas.
c) Materiales de fabricación.
d) Tipo de juntas de unión.
e) Material para empaquetaduras y juntas.
f) Material de las guarniciones de la válvula, que incluyen el vástago, anillo de asiento y disco.
g) Servicio técnico recomendado por el fabricante.

2.4 CLASIFICACIÓN

(1) Las válvulas, por el tipo de función, se clasifican en:

a) Válvulas de bloqueo.
b) Válvulas de estrangulamiento.
c) Válvulas de retención.
d) Válvulas de regulación y control.
e) Válvulas de protección.
f) Otras no especificadas en el presente Reglamento.

2.4.1 Válvulas de bloqueo

(1) Permiten aislar parte de un sistema o elemento. En este tipo de válvulas se pueden mencionar los siguientes tipos: las válvulas de compuerta, mariposa, aguja y esfera.

(2) Son válvulas de control que deben ser ubicadas de modo que permitan el aislamiento de cierta parte de la línea de aducción y circuitos de la red, a fin de permitir reparaciones y ajustes de las tuberías.

(3) Para el caso de válvulas de gran diámetro (> 400 mm) es aconsejable prever una tubería by-pass de menor diámetro, para permitir equilibrar las presiones y facilitar su accionamiento. La tubería by-pass debe estar dotada también de una válvula de compuerta.

(4) Dependiendo del tamaño de las tuberías donde serán instaladas, se pueden utilizar válvulas de compuerta o válvulas de mariposa.

(5) Las características principales y los usos más comunes de los diversos tipos de válvulas para servicio de bloqueo o cierre son:

2.4.1.1 Válvulas de compuerta

(1) Se deben utilizar exclusivamente como válvulas de bloqueo (cerrada) o abierta (al 100%), cuando se prevé accionamiento poco frecuente. Totalmente abierta presenta resistencia mínima al fluido de la tubería, generando una mínima pérdida de carga.

(2) Se recomienda utilizarla en la aducción o en la red principal, ya sea como válvulas de bloqueo o purga (drenaje).

2.4.1.2 Válvulas mariposa

(1) Su uso principal es para cierre y estrangulación de grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión. Su diseño de disco abierto, rectilíneo, evita cualquier acumulación de sólidos; la caída de presión es muy pequeña.

(2) Se aconseja usarla como válvula de bloqueo en la red principal y/o aducción, para casos de diámetros mayores. No debe usarse como válvula reguladora de caudal, ya que presenta tendencias a la cavitación.

2.4.1.3 Válvulas aguja

(1) Se logra un cierre hermético. Deben esta abiertas o cerradas del todo. Se emplean como válvulas de bloqueo en plantas. No es recomendable su empleo en tuberías de aducción y/o redes de distribución.

2.4.1.4 Válvulas de esfera o de bola

(1) Se utilizan para líquidos viscosos y pastas aguadas (lodos provenientes del tratamiento). Se utiliza totalmente abierta o cerrada. Completamente abiertas no presentan obstrucción al flujo.

(2) Se emplean como válvulas de bloqueo en las instalaciones de la planta de tratamiento. No se recomienda su empleo en tuberías de aducción y/o redes de distribución.

2.4.2 Válvulas de estrangulamiento

(1) Permiten modificar el caudal de determinadas partes del sistema, constituyen también válvulas de regulación. En éste tipo de válvulas se pueden señalar las válvulas tipo globo, que normalmente son comerciales en diámetros pequeños.

(2) Las características principales y los usos más comunes de los diversos tipos de válvulas para servicio de estrangulamientos son descritos a continuación:

2.4.2.1 Válvulas de globo

(1) Son de cierre positivo y para uso poco frecuente. El asiento suele ser paralelo al sentido del flujo; produce resistencia y caída de presión considerables.

2.4.2.2 Válvulas de aguja

(1) Estas válvulas son básicamente válvulas de globo que tienen un macho cónico similar a una aguja, que ajusta con precisión en su asiento. Se puede tener estrangulación exacta de volúmenes pequeños debido a que el orificio formado entre el macho cónico y el asiento cónico se puede variar a intervalos pequeños y precisos.

2.4.2.3 Válvulas en Y

(1) Son válvulas de globo que permiten el paso rectilíneo y sin obturación al igual que las válvulas de compuerta. La ventaja es una menor caída de presión en esta válvula que en la globo convencional.

2.4.2.4 Válvulas de ángulo

(1) Son en esencia, iguales que las válvulas de globo. La diferencia principal es que el flujo del fluido en la válvula de ángulo hace un giro de 90°.

2.4.2.5 Válvulas de mariposa

(1) Su uso principal es para cierre y estrangulación de grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión (desde 10 atm. hasta el vacío). Su diseño de disco abierto, rectilíneo evita acumulación de sólidos no adherentes y produce poca caída de presión.

2.4.3 Válvula de retención (check)

(1) Permiten el flujo en un solo sentido.

(2) Son válvulas que no permiten el flujo inverso, actúan en forma automática ante los cambios de presión para evitar que se invierta el flujo. El cierre se logra mediante el peso del mecanismo de retención o por la contrapresión cuando se invierte el flujo.

(3) Las válvulas de retención están disponibles en los tipos de bisagra, disco inclinable y de bola.

a) Las válvulas de bisagra (o clapeta) se utilizan para bajas presiones de líquidos con reflujos poco frecuentes. Si tienen cierre manual, se pueden emplear en el lado de descarga de las válvulas de desahogo de presión. Esta válvula funciona por gravedad, aspecto que se debe tener en cuenta para instalarla. Por lo general, la válvula se instala en posición horizontal, pero también se puede instalar en tuberías verticales con flujo ascendente.

b) La válvula de retención de disco inclinable. Es similar a la de bisagra. Presenta baja resistencia al flujo debido a su diseño rectilíneo. Esta válvula de retención tiene poca caída de presión a baja velocidad y mayor caída de presión a alta velocidad.

c) Las válvulas de retención de bola. Utilizan una bola o balín de libre rotación. En general se limitarán a diámetros pequeños y para servicio con materiales viscosos o que producen depósitos. Estas válvulas se pueden utilizar en una tubería horizontal o en una vertical con flujo ascendente.

(4) Las válvulas de retención deben ser instaladas en las estaciones de bombeo:

a) En tuberías de succión de instalación vertical, a continuación del colador de succión antes de la bomba (válvula de pie) para impedir que se vacíe la tubería de succión.

b) Después de la bomba para disminuir el golpe de ariete sobre la misma.

(5) Pueden ser instaladas también en tuberías de desagüe a fin de evitar el flujo inverso.

(6) Su instalación es recomendable en las válvulas de acometida de industrias, para evitar la contaminación de la red, que podrían succionarse por presión negativa.

2.4.3.1 Válvulas de pie

(1) Son válvulas de retención especiales. Esta válvula es para flujo ascendente y se conecta en la parte inferior de la tubería de succión.

(2) Como ventaja del uso de una válvula de pie, es que impide la pérdida de succión en la bomba, manteniendo el cebado de la misma. Al no haber flujo inverso, se impide la contaminación en el reservorio o cámara.

(3) Como desventaja se puede señalar que, aumenta resistencia (pérdida de carga) en la succión de la bomba y reduce la carga neta positiva de succión disponible (CNPS).

(4) Las válvulas de pie suelen incorporar coladeras para impedir la entrada de cuerpos extraños.

2.4.4 Válvulas de regulación y control

(1) Permiten modificar el caudal o presión de determinadas partes del sistema. Entre éstas se hallan las válvulas de flotador, las válvulas limitadoras de caudal, las válvulas reguladoras o reductoras de presión, estás últimas pueden ser clasificadas también como válvulas de protección.

2.4.4.1 Válvulas de flotador

(1) Este tipo de válvulas regula la entrada de agua, hasta que ésta ha alcanzado un nivel máximo deseado para que la válvula se cierre completamente. Su uso es imprescindible en los tanques de almacenamiento.

(2) Este tipo de válvulas necesariamente debe ser complementada con una válvula de bloqueo tipo compuerta.

2.4.4.2 Válvulas reductoras de presión

(1) Estas válvulas reducen automáticamente la presión aguas abajo de las mismas, hasta un valor prefijado, admisible para la red aguas abajo.

(2) Estas válvulas se colocarán en las conducciones que suministran a las zonas bajas de una población y en las conexiones entre anillos superiores e inferiores para reducir el nivel piezométrico hasta un valor admisible para la red inferior. De ser necesario, se instalarán en serie varias válvulas.

(3) Es recomendable el uso de válvulas reductoras de presión instaladas en una bifurcación de la línea, para permitir el funcionamiento de la instalación en caso de avería y/o mantenimiento de una de ellas, con las correspondientes válvulas de cierre, filtros, manómetros, etc.

(4) Las válvulas reductoras de presión deberán ser dispuestas en cámaras que brinden un acceso adecuado para las labores de montaje, operación y mantenimiento.

2.4.4.3 Válvulas limitadoras de caudal

(1) Son válvulas cuyo dispositivo de regulación permite entregar un caudal uniforme, para un cierto rango de presión en la red.

2.4.4.4 Válvula de control

(1) Válvula que regula el flujo o la presión de un fluido que influye en algún proceso controlado. Suelen funcionar con señales remotas desde accionadores eléctricos, neumáticos, electro-hidráulicos, etc.

2.4.5 Válvulas de protección

(1) Se destinan a usos específicos como ser; evacuación o ingreso de gases, protección contra golpe de ariete, etc. Dentro de éste tipo se pueden señalar: válvulas de alivio, ventosas, válvulas de entrada y purga de aire, válvulas antigolpe de ariete. Algunas de éstas válvulas pueden ser clasificadas también como válvulas de regulación.

2.4.5.1 Válvulas de alivio (o desahogo) de presión

(1) Se requiere el alivio, desahogo o descarga de la presión siempre que la presión de diseño de un sistema exceda a la que se puede controlar. La válvula de alivio de presión, debido a su sencillez y funcionamiento automático es la más confiable para producir el cierre cuando ocurre una sobrepresión. La presión de diseño del sistema que se va proteger con la válvula de alivio determinará la presión de graduación para ésta.

(2) Las válvulas de alivio se emplean en tuberías de impulsión y equipos sometidos a presión (tanques hidroneumáticos, acumuladores de presión, calderas, intercambiadores de presión y otros). Estas válvulas se abren automáticamente cuando la presión interna alcanza un valor establecido, liberando fluido hasta disminuir la presión a condiciones normales.

(3) Su aplicación debe limitarse a tuberías de pequeña extensión, debido a su sistema de cierre que puede generar golpe de ariete.

a) Válvulas de alivio (desahogo). Es una válvula automática para alivio (desahogo) que funciona con la presión estática en el lado de corriente arriba. La válvula se abre en proporción al aumento de la presión de apertura y su empleo principal es con líquidos.

b) Válvula de seguridad. Es para alivio (desahogo) automático de la presión y la acciona la presión estática en el lado de corriente arriba. La válvula se abre o dispara con gran rapidez y se utiliza principalmente en servicio de vapor de agua y gases o vapores.

c) Válvulas de seguridad convencional. Es una válvula de seguridad que tiene descarga hacia un desagüe. La contrapresión influye en la presión de graduación, presión de cierre y capacidad de la válvula.

d) Válvula de alivio (desahogo) equilibrada. Esta válvula tiene descarga a la atmósfera. Los efectos de contrapresión en su funcionamiento son mínimos.

e) Purga. Es la diferencia entre la presión de graduación y la de cierre de una válvula de seguridad, expresada como porcentaje de la presión de graduación, o en unidades de presión (din/cm^2, Kg/cm^2, PSI).

2.4.5.2 Válvula de protección contra golpe de ariete

(1) Este tipo de válvula debe ser instalada en las estaciones de bombeo sometidas a éste riesgo, sobre la línea de impulsión, para proteger las bombas. Su funcionamiento es similar a la válvula de alivio con la diferencia de que el cierre es lento.

2.4.5.3 Válvula de aire (ventosa)

(1) Este tipo de válvulas se instalará en los puntos altos de una tubería de aducción y en cambios de pendiente importantes de la línea, para permitir la salida del aire al exterior en forma automática. La ventosa se colocará en la generatriz superior de la tubería.

(2) Las válvulas de aire pueden ser de simple y doble efecto. Las de simple efecto dejan sólo salir aire; las de doble efecto permiten la purga y entrada de aire, de éste modo servirán también para cuando se vacíe la tubería, permitiendo el ingreso de aire y evitar el aplastamiento.

(3) El diámetro de la ventosa dependerá de la tubería sobre la que se instale, siendo la relación de diámetros aconsejables de 1/4 a 1/6 menor. La ventosa debe estar aislada de la tubería a servir por medio de una válvula de cierre, para facilitar las labores de mantenimiento.

(4) En sistemas correspondientes a poblaciones menores, los diámetros de la válvula del aire y de la válvula de cierre podrán ser iguales al diámetro de la tubería misma.

(5) Estas válvulas irán dispuestas dentro de una cámara de inspección, con tapa o ventanas provistas de orificios de ventilación al aire libre.

2.4.6 Otros tipos de válvulas

(1) Para el manejo de aguas con sólidos gruesos o finos hay tipos especiales de válvulas. Los tipos más comunes son en ángulo, fondo plano, macho, bola y diafragma y válvulas de opresión o compresión.

(2) Están diseñadas para mínima resistencia al flujo y, con frecuencia, están revestidas con aleaciones especiales para darles resistencia a la corrosión o a la abrasión.

2.4.7 Caída de presión en válvulas

(1) Para calcular la caída de presión en una válvula de bloqueo, el procedimiento usual es utilizar una longitud equivalente de tubo, según lo especificado por el fabricante.

(2) Normalmente no se efectúan cálculos de la caída de presión en las válvulas individuales, por que los datos de los fabricantes han estado en uso desde hace muchos años.

(3) Los tipos de válvulas mas empleados se encuentran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Tipos de válvulas más empleadas

Nombre de la válvula	Materiales de fabricación	Descripción y condiciones de uso
Válvula compuerta	Bronce, Fierro Fundido	Empleadas para abrir o cerrar por completo el paso de un fluido. El elemento móvil está constituido por un disco o cuña que se desplaza paralelamente al orificio de la válvula, a través de un eje o vástago el mismo que puede ser fijo o deslizante
Válvula mariposa	Bronce, Fierro Fundido	Se debe usar exclusivamente como válvulas de bloqueo, o abertura (100%) generando una mínima pérdida de carga. Se recomienda usarla en la red principal o aducción, ya sea como válvulas de bloqueo o purga (drenaje). Está constituida por un elemento móvil que consta de un disco que gira alrededor de un eje a través del cual se transmiten los movimientos de cierre y purga.
Válvula de esfera	Bronce, PVC	En algunas ocasiones se usa como válvula reguladora de caudal, pero ésta práctica no es aconsejable por la tendencia a cavitar que tiene esta válvula. Se aconseja usarla solo como bloqueo en la red principal o aducción. El elemento móvil es una esfera con una abertura diametral del mismo calibre de la tubería donde está instalada. En posición abierta minimiza las pérdidas de carga. Son empleadas como válvulas de bloqueo en instalaciones de plantas de tratamiento. No se aconseja su empleo en la red de distribución.
Válvula globo	Bronce, diferentes aleaciones	En éstas válvulas el cierre se lleva a cabo mediante un tapón que se ajusta sobre un asiento cuyo orificio está en posición paralela al sentido de flujo. En sus diversas posiciones de abertura genera altas pérdidas de carga. Son usadas para regulación y control, existiendo una variedad de las mismas. Se emplean fundamentalmente en las conexiones domiciliarias.
Válvula de retención check	Bronce, Fierro Fundido, Fierro Galvanizado	Permiten el paso del fluido en un solo sentido, cerrándose automáticamente por diferencia de presiones creada en el propio fluido, si hubiera tendencia a la reversión de flujo. Se emplean en los sistemas de bombeo, después de la descarga de cada bomba y a veces en la extremidad inferior de la tubería de succión.

Tabla 1. Tipos de válvulas más empleadas (continuación)

Nombre de la válvula	Materiales de fabricación	Descripción y condiciones de uso
Válvula de alivio	Fierro Fundido	Estas válvulas se abren automáticamente cuando la presión interna alcanza un valor preestablecido, liberando fluido hasta la disminución de la presión a condiciones normales, en éste punto, la válvula se cierra por la acción de un resorte. Se emplean en las líneas de impulsión. Su aplicación se limita a tuberías de pequeña extensión, debido a su sistema de cierre que puede generar un golpe de ariete.
Válvula antigolpe de ariete	Bronce, Fierro Fundido	Funcionan en forma similar a las válvulas de alivio, con la diferencia de que el cierre es lento debido a su sistema de amortiguación. Su uso esta extendido en las líneas de impulsión.
Válvula de purga de aire	Fierro Galvanizado, diferentes aleaciones	Poseen una cámara con un flotador esférico que obtura un orificio localizado en la parte superior. Se instalan en las partes altas de los sistemas de aducción a presión o zonas de red elevadas. Existen válvulas denominadas de triple efecto que constan de dos cámaras con sendos flotadores. Estas válvulas además de expulsar aire de las tuberías, permiten la entrada y salida de cantidades considerables de aire en situaciones de vaciado y llenado de las tuberías principales (aducción, impulsión)
Válvula de pie	Bronce, Fierro Galvanizado	Llamadas también válvulas de succión, son instaladas en la extremidad inferior de las tuberías de succión a objeto de mantener la bomba continuamente cebada. Generalmente están unidas a una rejilla o criba de protección.
Válvula flotador	Bronce, Bronce-PVC, aluminio-PVC	Constan de un flotador unido a una válvula de ingreso a través de un brazo móvil. Estas válvulas mantienen un predeterminado nivel en tanques y reservorios. Se abren cuando baja el nivel establecido y se cierran progresivamente conforme el nivel de agua retorna a su máxima posición. Para su empleo se deben tomar muy en cuenta las presiones de servicio a las que va a trabajar la válvula.
Válvula reguladora de presión	Fierro Fundido, diferente aleaciones	Similares a las válvulas de alivio, poseen un mecanismo amortiguador que permite disminuir la presión en la tubería a una presión establecida. Su empleo se realiza en redes de distribución y líneas de aducción por gravedad para disminuir las sobrepresiones de trabajo.

CAPÍTULO 3
TUBERÍAS Y ACCESORIOS

3.1 DEFINICIÓN

(1) Son dispositivos que permiten el transporte de agua de un punto a otro, en su diseño se debe tomar en cuenta la cantidad, calidad y presión de agua a conducir con el máximo de economía y en el momento deseado.

3.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL

(1) El material de las tuberías debe elegirse de acuerdo a las características que satisfagan las necesidades del proyecto y considerando los costos inicial y de mantenimiento así como la seguridad de la tubería.

(2) En la selección del material de las tuberías y accesorios deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

a) Resistencia contra la corrosión y agresividad del suelo.
b) Resistencia a esfuerzos mecánicos producidos por las cargas tanto externas como internas.
c) Características del comportamiento hidráulico del proyecto (presión de trabajo, golpe de ariete).
d) Condiciones de instalación adecuadas al terreno.
e) Condiciones económicas.
f) Resistencia contra la corrosión e incrustación debido a la calidad del agua.
g) Vida útil de acuerdo a la previsión del proyecto.

(3) En la **Tabla 2**, se presentan las ventajas y desventajas de los distintos materiales empleados en los sistemas de abastecimiento de agua potable.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las tuberías para el abastecimiento de agua potable

Material	Diámetro comercial (mm)	Presión de trabajo por tipo de tubería (m.c.a.)	Ventajas	Desventajas
Fierro Dúctil (FD)	100 a 600 o mas a pedido	< de 300	Buena resistencia a carga exterior. Muy buena resistencia a la corrosión. Mas liviana que el FF.	Poca elasticidad (pero mayor que el FF). Frágil (menos que el FF). Costo elevado.
Asbesto -Cemento (AC)	24.5 a 600	< 150	Buena resistencia a la corrosión. Liviana y de fácil manipuleo. No sujeta a electrólisis. Mínima carga por fricción.	Se deteriora en suelos ácidos. Baja resistencia a la flexión. Frágil.
Acero (2)	Desde 50 a pedido	Dependerá del espesor y las condiciones de fabricación comercialmente se tiene de 160 a 600 mm	Alta resistencia a la tracción. Adaptable a zonas donde puede haber asentamiento.	Baja resistencia a la corrosión. Costo elevado. Esta sujeta a electrólisis . Corrosión extrema en suelos ácidos o alcalinos.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las tuberías para el abastecimiento de agua potable (continuación)

Material	Diámetro comercial mm	Presión de trabajo por tipo de tubería (m.c.a.)	Ventajas	Desventajas
Policloruro vinil (PVC) (1)	12.5 a 250	SDR-32.5 = 87,4 (3) SDR-26 = 112,5 SDR-21 = 140,6 Clase 6 = 60 Clase 9 = 60 Clase 12 = 120 Clase 15 = 150 Esquema 40 = variable Esquema 80 = variable (diferentes presiones y espesores a pedido)	Excelente resistencia a la corrosión. Liviana y de fácil manipuleo.	Solo puede funcionar hasta temperatura de 50°C Baja resistencia a la flexión. Puede perforarse. No sujeta a electrólisis. Mínima carga por fricción. Bajo costo dependiendo del tipo de tubería.
Polietileno (PE) (1)	12.5 a 100	PE grado 33 = variable Densidad 0,93 a 0,94 = variable	Excelente resistencia a la corrosión. Liviana y de fácil manipuleo. Bajo costo. Menor número de juntas. No sujeta a electrólisis. Mínima carga por fricción.	Solo puede funcionar hasta temperatura 50°C. Puede perforarse o rasgarse. No resiste alta presión. Se hace quebradizo con el sol.
Fierro Galvanizado (FG)	12.5 a 150	< de 400	Buena resistencia a carga exterior .	Poca elasticidad. Precio elevado.
Fierro Fundido (FF)	100 a 600 o mayores a pedido	< de 400	Buena resistencia a carga exterior. Admite presiones elevadas.	Peso elevado. Muy buena resistencia a la corrosión. Frágil. Poca elasticidad. Costo elevado.

(1) Las tuberías de PVC y Polietileno tienen diferentes capacidades de trabajo dependiendo de las normas de fabricación
(2) La utilización de esta tubería, debe justificarse técnico-económicamente.
(3) Las normas SDR (Standard Dimensional Rate), también conocidas como RDIE (Relación Dimensional Estándar)

(4) Para la selección del material de las tuberías empleadas en sistemas de agua potable debe considerarse todo lo especificado en la Norma Boliviana correspondiente.

3.3 ESPECIFICACIONES Y CONTROL DE CALIDAD

(1) Las especificaciones técnicas de las tuberías y accesorios a utilizarse deben cumplir con los requerimientos de la Norma Boliviana correspondiente.

(2) Los fabricantes deben presentar una certificación de control de calidad otorgado por el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA).

(3) Las tuberías y accesorio que tengan un certificado de control de calidad del exterior del país, deben ser homologados en nuestro país.

(4) Las tuberías y accesorios deben ser compatibles entre sí en lo que se refiere a:

a) Presiones de trabajo.
b) Dimensiones (diámetros, espesores, sistema de unión).
c) Estabilidad electroquímica si se trata de materiales diferentes.

GLOSARIO DE TÉRMINOS, NOMENCLATURA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GLOSARIO

Abatimiento. Diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico, que es función y consecuencia del proceso de bombeo.

Ablandamiento del agua. Proceso de tratamiento aplicado a las aguas con exceso de sales de calcio y magnesio. Se refiere a la remoción de dureza carbonácea y no carbonácea.

Acuífero. Estructura geológica estratigráfica sedimentaria, cuyo volumen de poros está ocupado por agua en movimiento o estática.

Acuífero confinado. Acuífero comprendido entre dos capas impermeables, estando el agua contenida en él sometida a presión mayor a la atmosférica.

Acuífero libre. Acuífero cuya superficie libre del agua se encuentra a presión atmosférica.

Aducción. Conjunto de tuberías, canales, túneles, dispositivos y obras civiles que permiten el transporte de agua desde la obra de captación hasta la planta de tratamiento y/o tanque de almacenamiento o directamente a la red.

Agua cruda. Agua superficial, subterránea o pluvial en estado natural.

Agua potable. Agua que por su calidad física, química radiológica y microbiológica es apta para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua.

Agua freática. Agua subterránea más cercana a la superficie del suelo.

Aireación. Proceso por el cual que se produce un contacto entre el aire y el agua a objeto de oxigenarla y/o remocionar gases y sustancias volátiles.

Almacenamiento total. Volumen correspondiente a la capacidad de todos los tanques de distribución. Puede referirse a los tanques de almacenamiento de una única zona de presión o a los tanques de almacenamiento de todo el sistema de distribución.

Área específica. En un sistema de distribución, es el área cuyas características de ocupación se tornan distintas de las áreas vecinas, en términos de concentración demográfica y de la categoría de consumidores presentes.

Azolve. Lodo o sedimento que obstruye un conducto de agua.

Barrera múltiple. Inclusión de una o más etapas al tratamiento de las aguas. Estas etapas juntas remueven progresivamente los contaminantes para producir agua de uso y consumo humano. También conocido como “múltiples etapas de tratamiento”.

Bocas de desagüe. Dispositivos que sirven para el drenaje de las aguas.

Bomba manual. Dispositivo mecánico, destinado a extraer agua de un nivel inferior a otro superior accionados por la fuerza física humana.

Bomba eólica. Dispositivo mecánico destinado a extraer agua de un nivel inferior a otro superior accionados por la fuerza eólica (viento).

Bomba solar. Dispositivo electromecánico que utiliza la energía solar para su funcionamiento, permitiendo extraer agua de pozos perforados y excavados. La energía eléctrica necesaria para su funcionamiento es generada por los paneles fotovoltaicos.

Bomba de ariete hidráulico. Dispositivo mecánico que permite elevar agua aprovechando la energía hidráulica del golpe de ariete.

Calidad del agua. Se expresa mediante la caracterización de los elementos y compuestos presentes, en solución o en suspensión, que desvirtúan la composición original.

Cámara de bombeo. Depósito de agua, destinado a alojar el dispositivo de succión del equipo de bombeo. Se denomina también cárcamo de bombeo.

Capacidad de la instalación. Capacidad que presenta o se asigna a una instalación sobre la base de su infraestructura y recursos disponibles.

Capacidad de almacenamiento. Volumen de agua que puede ser almacenado en un tanque.

Capacidad específica. Relación entre el caudal extraído de un pozo y la profundidad o longitud de abatimiento, para un tiempo determinado, expresado en l/s-m.

Captación. Estructura o conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de la fuente.

Categoría de consumidor. Clasificación del consumidor o usuario de acuerdo con la actividad y uso que hace del agua y con la cantidad de agua consumida en una unidad de tiempo.

Cámara de lodos. Compartimiento diseñado en forma y tamaño tal, que permita la acumulación y posterior extracción de lodos de las plantas potabilizadoras de agua.

Cámaras de lodos continúas. Receptáculos de lodos, dispuestos a lo largo de la zona de sedimentación, dispuestos de forma continua.

Cámaras de lodos separadas. Receptáculos de lodo, dispuestos a lo largo y ancho de la zona de sedimentación, dispuestos en forma separada, presentando una forma troncocónica invertida.

Caudal máximo diario. Consumo máximo durante 24 horas observado en el período de un año sin tener en cuenta los gastos que se hayan presentado por razones de incendio, pérdidas, accidentes y fuerza mayor.

Caudal máximo horario. Consumo máximo obtenido durante una hora en el período de un año sin tener en cuenta los gastos que se hayan presentado por razones de incendio, pérdidas, etc.

Caudal medio diario. Consumo durante 24 horas, obtenido como promedio de los consumos diarios en el período de un año.

Cementación. Proceso que consiste en cubrir la superficie de un tubo con revestimiento de mortero o pasta de cemento a fin de proteger el tubo contra la corrosión.

Ciclo hidrológico. Sucesión de estados físicos de las aguas naturales: evaporación, condensación, precipitación pluvial, escorrentía superficial, infiltración subterránea, depósito en cuerpos superficiales y nuevamente evaporación.

Coagulación. Reacción y mecanismo físico - químico que produce la agrupación de partículas, mediante la desestabilización de las partículas y el contacto físico entre ellas.

Coeficiente de almacenamiento de un acuífero. Corresponde a la relación entre el volumen de agua drenado por área unitaria, cuando la presión estática desciende una unidad.

Coeficiente de permeabilidad. Volumen de agua que pasa en una unidad de tiempo a través de una sección del material de área unitaria con un gradiente hidráulico unitario.

Coeficiente de transmisión o transmisibilidad. Es igual al coeficiente de permeabilidad multiplicado por el espesor del acuífero.

Coliformes Termorresistentes. Grupo de bacterias que fermenta la lactosa a 44ºC – 45 ºC, comprendiendo el género Escherichia y en menor grado especies de Klebsiella, Enterobacter y Citrobacter. Los termorresistentes distintos de E. coli pueden proceder de aguas orgánicamente enriquecidas (efluentes industriales, materiales vegetales y suelos en descomposición).

Coliformes Totales. Indicador microbiano de la calidad del agua de bebida. Se denominan:"organismos coliformes" (total de coliformes) siendo bacterias Gram –negativas que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos, fermentando la lactosa a 35 ºC – 37 ºC, produciendo gas y aldehído en un plazo de 24 a 48 horas.

Compatibilidad medio ambiental. Empatía existente entre una instalación de tratamiento, su medio ambiente y otras instalaciones que están interrelacionadas.

Conexión domiciliaria. Conjunto de tuberías y accesorios que permiten la conducción del agua desde la red de distribución hasta el límite de propiedad del beneficiario.

Consumo en la red. Cantidad de agua del sistema de distribución utilizada en una unidad de tiempo.

Cribado o cernido. Proceso mediante el cual se retienen sólidos gruesos en rejas o cribas. Se denomina también desbaste.

Desinfección. Proceso que permite la inactivación de microorganismos patógenos y no patógenos a través de la adición de sustancias desinfectantes (oxidantes), agentes físicos como el calor y la radiación.

Dotación. Cantidad de agua que se asigna a un habitante para su consumo por día, expresado en (l/h - d).

Escherichia coli. Pertenece a la familia de las enterobacteríaceas. Se desarrolla a 44ºC – 45 ºC en medios complejos, fermenta la lactosa y el manitol liberando ácido y gas; produce indol a partir del triptófano. Algunas cepas pueden desarrollarse a 37 ºC pero no a 44 ºC – 45 ºC y algunas no liberan gas. La Escherichia coli se encuentra en las heces fecales de origen humano y animal. Se halla en aguas residuales, los efluentes tratados y todas las aguas y suelos que hayan sufrido una contaminación fecal reciente.

Estación de bombeo. Conjunto de estructuras, instalaciones y equipos que permiten elevar el agua de un nivel inferior a otro superior, haciendo uso de equipos de bombeo.

Estiaje. Época o periodo del año en el que las precipitaciones pluviales son nulas o mínimas.

Fiabilidad. Grado de confiabilidad que se tenga a un proceso de tratamiento, dándole calidad de “esencialmente seguro y a prueba de fallos”.

Filtración. Proceso físico de separación de materia en suspensión presente en el agua a través de un medio granular.

Filtro o criba. Dispositivo en forma tubular colocado en formaciones acuíferas no consolidadas, para permitir la entrada de agua a un pozo en condiciones favorables.

Flexibilidad del proceso. Grado de acomodamiento a cambios de orden operacional, mantenimiento y administrativo, debidas a fluctuaciones cualitativas y cuantitativas en la materia prima (agua a tratar).

Floculación. Proceso físico en el que se producen contactos interparticulares, para formar posteriormente masas mayores denominadas flóculos.

Flotación. Ascenso de sólidos en suspensión contenidos en el agua, utilizando un agente de flotación (burbujas de aire).

Fuente de abastecimiento de agua. Depósitos o cursos naturales de agua, superficiales o subterráneos.

Galería filtrante. Conducto horizontal construido en un medio permeable, para interceptar y recolectar agua subterránea que fluye por gravedad.

Gestión de residuos de plantas. Manejo, almacenamiento, transporte y disposición final de los residuos sólidos, líquidos y al control de los residuos gaseosos generados en una planta potabilizadora de agua.

Golpe de ariete. Fenómeno oscilatorio causado por el cierre rápido de válvulas o, por el paro repentino del sistema de bombeo, que da lugar a la transformación de la energía cinética del líquido en energía elástica almacenada tanto en el agua como en la tubería, provocando sobrepresiones y subpresiones, que pueden originar la ruptura de la tubería.

Inviabilización. Evitar su desarrollo; no dar vialidad al crecimiento; aplicable al campo microbiológico (bacteriológico).

Isócrona de 50 días. Zona dentro la cual los gérmenes patógenos llegarían a la fuente de agua en 50 días o menos.

Lixiviado. Líquido de características físico – químicas y microbiológicas especificas proveniente de la deshidratación de los lodos.

Lodo. Residuo semisólido o líquido proveniente del proceso de tratamiento de la aguas, formado a partir de los residuos sólidos suspendidos, coloidales y disueltos remocionados y acumulados en las unidades de tratamiento y que requieren ser tratados, transportados y dispuestos adecuadamente.

Manantial. Afloramiento de agua subterránea que aparece en la superficie en forma de corriente debido a la presencia de algún tipo de singularidades ya sea de la topografía del terreno o de las condiciones del subsuelo.

Nivel dinámico. Distancia medida desde la superficie del terreno hasta el nivel de agua en el pozo producido por el bombeo.

Nivel estático. Distancia desde la superficie del terreno hasta el nivel de agua en el pozo, no afectado por el bombeo.

Nivel freático. Nivel de agua subterránea libre más cercano a la superficie del suelo.

Nivel máximo útil. Mayor nivel que podrá ser alcanzado en el reservorio, controlado, por condiciones de operación que evitarán la pérdida de agua a través del rebosadero.

Nivel máximo. Nivel fijado por el dispositivo de rebose.

Nivel medio. Nivel correspondiente a la media aritmética de las cotas relativas a los niveles máximo útil y mínimo útil.

Nivel mínimo útil. Es el menor nivel de agua que permitirá abastecer agua a la red de distribución durante las ocasiones en que el consumo es máximo.

Obra de captación. Estructura o conjunto de estructuras necesarias para obtener agua de una fuente.

Pasta. Estado intermedio entre la fase líquida y sólida producto de la deshidratación parcial de los lodos; se conoce también con el nombre de “cake”, queque o torta.

Permeabilidad. Permeabilidad de un material o coeficiente de permeabilidad, es el volumen de agua que pasa en una unidad de tiempo, a través de una sección del material de área unitaria con un gradiente hidráulico unitario.

Pileta pública. Infraestructura civil y accesorios localizados en lugar público, que permiten la distribución del agua a los usuarios o consumidores con fines domésticos.

Planta de Tratamiento. Conjunto de obras civiles, instalaciones y equipos convenientemente dispuestos para llevar a cabo procesos y operaciones unitarias que permitan obtener aguas de calidad aptas para consumo y uso humano. Se denomina también Planta potabilizadora de agua.

Porosidad. Medida del contenido de vacíos o intersticios en un medio, dada por la relación porcentual entre el espacio vacío y el volumen total.

Pozo artesiano. Pozo que capta agua de un acuífero combinado, donde el nivel estático del pozo se eleva por encima del nivel superior del acuífero en la ubicación del pozo.

Pozo freático. Pozo que capta el agua de un acuífero libre.

Pozo profundo. Pozo excavado mecánicamente y luego entubado, del que se extrae agua en forma mecánica desde cualquier profundidad.

Pozo somero. Pozo de agua generalmente excavado a mano, que sirve para obtener agua del nivel freático principalmente para uso doméstico.

Prefiltro o empaque de grava. Capa de material granular (arena, gravilla o grava) colocada entre el filtro y la formación acuífera.

Presión de servicio. Presión requerida para que el agua llegue al punto más desfavorable del sistema.

Presión de rotura. Presión interna a la cual una tubería falla o se rompe.

Presión dinámica. Diferencia entre la presión estática y las pérdidas de carga producidas en el tramo respectivo, en el momento de flujo máximo.

Presión estática. Presión en un punto de la aducción o red considerando la ausencia de flujo en la misma o consumo nulo en la red.

Presión nominal. Presión interna máxima a la que puede estar sometida una tubería en las condiciones de apoyo y relleno establecidas en el proyecto.

Proceso oligodinámico. Proceso por el cual se manifiesta la acción desinfectante de un metal (plata iónica) debido a la “fuerza de cantidades diminutas”.

Rebosadero. Dispositivo destinado a impedir que el nivel de agua en el reservorio sobrepase una cota predeterminada, descargando el eventual exceso a un destino conveniente.

Recarbonatación. Proceso de aplicación de dióxido de carbono para bajar el pH del agua.

Red de distribución. Conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten la entrega del agua a los consumidores en forma constante con presión apropiada y en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades.

Residuos de plantas. Productos provenientes de uno o varios procesos de tratamiento de las aguas conocidos como lodos (sólidos en agua), salmueras o concentrados (fase liquida con sólidos disueltos) y gaseosos (gases y polvos).

Residuos gaseosos. Corresponde a todo residuo gaseoso generado en una planta potabilizadora de agua, producto de los procesos o de las acciones de operación y mantenimiento.

Residuos líquidos. Corresponde a todo residuo líquido generado en una planta potabilizadora de agua, producto de los procesos o de las acciones de operación y mantenimiento.

Sedimentación. Proceso físico de remoción de partículas presentes en el agua a tratar, considerando que las mismas tienen un peso específico mayor al del agua.

Sistema de agua potable. Conjunto de estructuras, equipos, accesorios e instalaciones que tiene por objeto transformar la calidad del agua y transportarla desde la fuente de abastecimiento hasta los puntos de consumo, en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión.

Sistema de tratamiento. Denominado también como tren de tratamiento o simplemente tratamiento; es el conjunto de unidades de tratamiento dispuestas de forma tal que, son capaces de transformar el agua cruda en agua potable.

Tanque de almacenamiento. Depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución destinado a almacenar agua y/o mantener presiones adecuadas en la red de distribución.

Tanque de compensación. Depósito cuya posición relativa es tal que puede abastecer o recibir agua, y de la red de distribución.

Tanque de distribución. Componente del sistema de distribución de agua destinado a: regular las diferencias que se producen en un día entre el volumen de abastecimiento y el consumo, asegura el abastecimiento continuo durante períodos cortos de desabastecimiento y proporcionar presión al sistema de distribución.

Tanque de regulación. Depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución, destinado a almacenar el agua para compensar las variaciones de consumo.

Tanque elevado. Depósito cuya cota de fondo es superior a la cota del terreno donde se halla ubicado.

Tanque enterrado. Depósito que se sitúa enteramente en una cota inferior a la del terreno en el que está localizado.

Tanque intermedio. Depósito cuya posición relativa es tal que recibe o abastece agua a una red de distribución y alimenta siempre a otra red de distribución.

Tanque semienterrado. Depósito que presenta por lo menos un tercio de su altura total situada por debajo del nivel de terreno donde se encuentra localizado.

Tecnología alternativa. Solución técnica que permite la dotación de agua de consumo a través de instrumentos, mecanismos, construcciones y/o procedimientos simples, de bajo costo y rápida implementación. Se denomina también Tecnología Apropiada.

Tratamiento con Tecnología Apropiada. Tratamiento que evita o minimiza el uso de sustancias químicas, a objeto de garantizar sostenibilidad en la operación y mantenimiento, considerando las limitadas capacidades técnico – económicas locales. Denominado también sistema de tratamiento de tecnología apropiada.

Tratamiento convencional. Tratamiento que incluye la adición de compuestos químicos que favorecen el tratamiento, produciendo remociones de elementos y compuestos presentes en el agua. Consta de unidades de mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Se denomina también sistema convencional.

Tren de tratamiento. Conjunto de unidades de tratamiento dispuestas convenientemente que logran la depuración del agua cruda.

Tubería de conducción. Tubería comprendida entre la planta de tratamiento y/o el tanque de regulación y la red de distribución.

Tubería de entrada. Tubería que conduce el agua hacia el interior de un tanque de almacenamiento.

Tubería de impulsión. Tubería comprendida entre la salida de la bomba y el tanque de almacenamiento o red de distribución.

Tubería de limpieza. Tubería dispuesta de manera tal que permite el desagüe total y la limpieza del interior del tanque.

Tubería de salida. Tubería que conduce el agua del interior del tanque de almacenamiento hacia el sistema de alimentación o distribución.

Tubería de succión. Tubería comprendida entre la criba y la entrada a la bomba.

Tubo de revestimiento externo. Tubo de material resistente, utilizado en la etapa de perforación de un pozo.

Tubo de revestimiento interno. Tubo de material resistente utilizado para permanecer definitivamente en el pozo estableciendo una ligazón entre el filtro y la superficie.

Unidad de tratamiento. Estructura, equipos o accesorios necesarios para realizar un proceso físico - químico o biológico para la depuración del agua cruda.

Vertedero. Dispositivo que permite el rebosamiento de una cantidad determinada de agua.

Zona de lodos. Zona en la que se acumulan los lodos y de la cual son retirados, a una unidad de tratamiento particular.

NOMENCLATURA

APHA: American Public Health Asociation.

ASTM: American Society for Testing and Material Standards.

AWWA: American Water Works Asociation.

AYNI: Prototipo de Bomba Manual.

BM: Bench Mark.

BOMPO: Bomba de Operación y Mantenimiento a nivel de Poblado.

BSI: The British Standards Institution.

ºC: Grados Celsius.

$CaCO_3$: Carbonato de calcio.

CA: Corriente Alterna.

CBH: Código Boliviano del Hormigón.

CEN: Comunidad Europea de Normalización.

CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

CNPS: Carga Neta Positiva de Succión , en inglés NPSH: Net Positive Suction Head.

CINARA: Centro Internacional de Abastecimiento y Remoción de Aguas; Universidad del Valle, Cali - Colombia.

CPISA: Coordinación de Post Grado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

cm: centímetro.

CV : Caballo Vapor.

DANT : Dirección de Área de Normas y Tecnología.

DBO_5: Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días).

DIN: Deutches Institut für Normung.

DINASBA: Ex - Dirección Nacional de Saneamiento Básico.

DMS: Distancia Mínima de Seguridad.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

FD: Filtración Directa.

F.D.A.: Filtración Directa Ascendente.

F.D.D.: Filtración Directa Descendente.

F.D.A.D.: Filtración Directa Ascendente Descendente.

FF: Fierro Fundido.

FFD: Fierro Fundido Dúctil.

FG: Fierro Galvanizado.

FG: Filtración Gruesa.

FGA: Filtración Gruesa Ascendente.

FGAC: Filtración Gruesa Ascendente en Capas.

FGAS: Filtración Gruesa Ascendente en Serie.

FGD: Filtración Gruesa Descendente.

FGDi: Filtración Gruesa Dinámica.

FGDS: Filtración Gruesa de Flujo Descendente en Serie.

FGH: Filtración Gruesa Horizontal.

FiME: Filtración en Múltiples Etapas.

FLA: Filtración Lenta en Arena.

FLEXI-OPS: Prototipo de Bomba Manual.

G: Gradiente de velocidad.

GPS: Global Position System (Sistema de Posicionamiento Global).

hab/ha: habitantes por hectárea.

HºAº: Hormigón Armado.

HP : Caballo fuerza.

IBNORCA: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad.

IGM: Instituto Geográfico Militar.

IHE-Delft: International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering – Delft, The Netherlands.

INE: Instituto Nacional de Estadística.

IRC: International Research Center.

ISO: International Organization for Standarization.

km: kilómetro.

l/s: litro por segundo.

l/hab-d: Litros por habitante día

m: metros.

m.c.a.: metro columna de agua.

m.s.n.m.: metro sobre el nivel de mar.

m/s: metro por segundo.

max: máximo.

med: medio.

mg/l: miligramo por litro.

mg/m^3: miligramo por metro cúbico.

ml/l: mililitro por litro.

mm: milímetro.

NB: Norma Boliviana.

NB-512: Norma Boliviana – 512: Agua Potable Requisitos.

NB-647: Norma Boliviana – 647: Productos químicos para uso Industrial; cal viva y cal hidratada.

NB-648: Norma Boliviana – 648: Productos químicos para uso Industrial; cloro líquido.

NB-650: Norma Boliviana – 650: Productos químicos para uso Industrial; sulfato de aluminio.

N/cm^2: Newton por centímetro cuadrado.

NMP/100 ml: Número más probable por cada 100 mililitros.

OD: Oxígeno Disuelto.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

OPS: Organización Panamericana de la Salud.

pH: Potencial de Hidrógeno.

PE: Polietileno.

PEAD: Polietileno de Alta Densidad.

PET: Teleftalato de Polietileno.

PROAT: Programa de Asistencia Técnica.

PSAD: Provisional South America Data.

PVC: Polivinilo de Cloruro.

PVCU: Polivinilo de Cloruro no plastificado.

SEDAPAL: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado, Lima-Perú.

SODIS: Desinfección solar (del Inglés Solar Disinfection)

THMs: Trihalometanos.

UC: Unidades de Color.

U.C.V.: Unidad de Color Verdadero.

UFC/100 ml: Unidades Formadoras de Colonia por 100 mililitros.

UT = UTN = UNT: Unidad de Turbiedad; Unidad de Turbiedad Nefelométrica; Unidad Nefelométrica de Turbiedad.

UMSA: Universidad Mayor de San Andrés, La Paz - Bolivia.

UTM: Universal Transverse Mercator.

UV: Ultra Violeta.

VSB: Viceministerio de Servicios Básicos.

WHO: World Health Organization.

WPCF: Water Pollution Control Federation.

YAKU: Prototipo de Bomba Manual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Advanced WaterTreatment; W.J. Masschelein, IHE - Delft (1992), The Netherlands.

Calidad y tratamiento del Agua, Manual de suministros de Agua Comunitaria; American Water Works Asociation AWWA, Mc Graw Hill (2002).

Calidad del Agua, Romero Jairo, 2ª Edición Alfa-Omega (1999), México D.F.

Compendio de Normas sobre Saneamiento; Normas Técnicas, Volumen II, Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (1995), Lima-Perú.

Desinfección del agua, Cáceres Oscar (1990), Lima-Perú.

Diseño de acueductos y alcantarillados, R. A. López Cualla, 2da edición, Alfa Omega (1998), México D.F.

El agua, calidad y tratamiento para consumo humano; Criterios de diseño, tomo V, CEPIS (1995), Lima-Perú.

El agua, calidad y tratamiento para consumo humano; Criterios de selección tomo I y II, CEPIS (1995), Lima-Perú.

El agua, calidad y tratamiento para consumo humano; Teoría, tomo III, CEPIS (1995), Lima-Perú.

El agua, calidad y tratamiento para consumo humano; Teoría, Operación y Mantenimiento tomo IV, CEPIS (1995), Lima-Perú.

Elaboración de proyectos de sistemas de abastecimiento de agua: Asociación Brasilera de Normas Técnicas (1977), Brasil.

Especificaciones Técnicas para la Ejecución de Obras de SEDAPAL, Servicio de Agua Potable y Alcantarillado (1999), Lima-Perú.

Filtración gruesa horizontal, Wegelin Martín, CEPIS (1994), Lima-Perú.

Filtración en Múltiples Etapas; Tecnología innovativa para el Tratamiento de Agua; Galvis G., Latorre J., Visscher J.T. (1999), Cali-Colombia.

Guías para la calidad del agua potable; Volumen 3 – Recomendaciones, OMS (1995), Ginebra-Suiza.

Guidelines for Drinking - Water Quality; Volume 2, Health criteria and other supporting information WHO (1996) - Ginebra-Suiza.

Hidráulica de los canales abiertos; Ven Te Chow (1983).
La filtración Gruesa en el Tratamiento de Agua de Fuentes Superficiales; Wegelin M, Galvis G. Latorre, Sandez, CINARA (1998), Cali –Colombia.

Manual de Hidráulica, J. M. de Azevedo Netto, Guillermo Acosta (1973), Sao Paulo, Brasil.

Manual de plantas de tratamiento de agua potable, Peñaranda Waldo; Universidad Mayor de San Andrés (1984), La Paz-Bolivia.

Manual del Agua; Degremont G (1973), Francia.

Ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riegos de sub productos de desinfección, Craun Gunther –Castro Rosario (1995), Washington-USA.

Potabilización del agua. Romero Jairo, 2ª Edición Alfa-Omega (1999), México D.F.

Procesos Unitarios: Sedimentación Teoría y Taller; Díaz José, España Carlos, IHE – Delft, CPISA, Universidad Mayor de San Andrés (2002), La Paz-Bolivia.

Procesos Unitarios: Aireación y Transferencia de gases. Pöepel H.J.; España C., IHE-Delft, CPISA, Universidad Mayor de San Andrés (2002), La Paz-Bolivia.

Purificación del Agua; Romero Jairo; Editorial: Escuela Colombiana de Ingeniería Colombia (2000), México D.F.

Rapid Filtration; Huisman L., IHE- Delft (1992), The Netherlands.

Reglamentación de la Ley del Medio Ambiente, Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (1996), La Paz-Bolivia.

Reglamentos Técnicos de Diseño para Unidades de Tratamiento no Mecanizadas para Sistemas de Agua Potable y Aguas Residuales, Ministerio de Desarrollo Humano – DINASBA (1996), La Paz-Bolivia.

Reglamentos técnicos para diseño de sistemas de agua potable para poblaciones menores a 5000 hab., Ministerio de Desarrollo Humano – DINASBA (1996), La Paz-Bolivia.

Servicios Sostenibles de Agua y Saneamiento; Marco Conceptual; Universidad del Valle – Cinara – Ministerio de Desarrollo Económico (1998), Cali-Colombia.

Slow Sand Filtration; Huisman L., IHE- Delft (1992), The Netherlands.

Sludge Treatment and Disposal; H.M.M. Koppers, IHE-Delft (1992), The Netherlands.

Sludge Treatment; Veenstra S; IHE- Delft (1992) (1999), The Netherlands.

Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomos I – II, Arboleda Jorge (2000), Mc Graw Hill – ACODAL.

Water Treatment Processes and Plants; Introduction and Designs Aspects; J.P. Buiteman, IHE – Delft (1992), The Netherlands.

Water Treatment; J.C. Schippers, IHE – Delft (1992), The Netherlands.

Water Quality; L. Huisman, IHE- Delft (1992), The Netherlands.

Water Quality of Lakes and Rivers; G. Oskam, IHE- Delft (1992), The Netherlands.

AGRADECIMIENTO

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas, a través del Viceministerio de Servicios Básicos, expresa su agradecimiento a todas las instituciones y profesionales que de manera desinteresada hicieron posible la actualización de los presentes Reglamentos, en forma especial se agradece a:

Arq. Jorge Carrasco
DIRECTOR EJECUTIVO - FPS

Dr. Alfonso Garcia
PRESIDENTE EJECUTIVO - FNDR

Ing. Johnny Cuellar
SUPERINTENDENTE DE SANEAMIENTO BASICO – SISAB

Ing. Ronny Vega
GERENTE GENERAL - ANESAPA

Lic. Kory Eguino
DIRECTORA EJECUTIVA - IBNORCA

Sr. Torsten Wetterblad
CONSEJERO JEFE DE COOPERACION – EMBAJADA DE SUECIA

Lic. Isabel Ascarrunz
OFICIAL DE PROGRAMAS - Asdi

VSB: Viceministerio de Servicios Básicos

El VSB, creado por Decreto Supremo Nº 25055, Decreto Reglamentario de la Ley Nº 1788 "Ley de Organización del Poder Ejecutivo (LOPE), del 16 de septiembre de 1997, con el propósito de promover el mejoramiento de la calidad de vida de la población boliviana a través de la dotación de servicios sostenibles de agua potable y saneamiento y gestión de residuos sólidos. El VSB tiene las siguientes funciones y atribuciones:

- Formular, ejecutar y controlar políticas y normas sectoriales destinadas al desarrollo e instalación de los servicios básicos para mejorar las coberturas mediante planes y programas de inversión, compatibilizando las necesidades y prioridades regionales.
- Promover y proponer la discusión de normas de diseño y uso de tecnología apropiada, para alcanzar mayor cobertura en los servicios, controlando su aplicación y apoyando la investigación tecnológica.
- Efectuar el seguimiento al cumplimiento de los programas de saneamiento básico, en el marco del Plan Sectorial correspondiente.
- Mantener un sistema de información sectorial actualizando a nivel nacional y departamental.
- Diseñar y realizar programas de capacitación y formación de recursos humanos, en administración, operación, mantenimiento, educación sanitaria y participación comunitaria.
- Elaborar programas de desarrollo institucional supervisando su ejecución y apoyando su aplicación en el Sector.
- Velar por el cumplimiento de la política tarifaría en los servicios de saneamiento básico.

Revisión

Los presentes Reglamentos están sujetos a ser revisados periódicamente, con el objeto de que respondan permanentemente a las necesidades y exigencias del Sector.

Características de aplicación

Estos Reglamentos se constituyen en instrumentos de ordenamiento tecnológico, orientadas a aplicar criterios de calidad, su utilización es de carácter obligatorio y un compromiso conciencial y de responsabilidad de las instituciones y profesionales que trabajan en el Sector.

Información sobre Normas y Reglamentos Técnicos

El VSB ha habilitado en su página WEB (www.sias.gov.bo) un espacio de "Normas Técnicas", donde se encuentran en formato pdf las distintas normas y reglamentos técnicos del Sector.

Derechos de Propiedad

Documento del Ministerio de Servicios y Obras Públicas de la República de Bolivia. Se autoriza la reproducción parcial o total, haciendo referencia a la fuente.

Ministerio de Servicios y Obras Públicas
Viceministerio de Servicios Básicos
Av. Mariscal Santa Cruz, Edif. Centro de Comunicaciones, piso 14
Tel: 231 3292 – 231 1010
www.sias.gov.bo
La Paz – Bolivia

Reglamento Nacional

NB 689



REPÚBLICA DE BOLIVIA



MINISTERIO DEL AGUA
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable

Volumen 2 de 2

Segunda revisión
Diciembre 2004

Reglamento Nacional NB 689

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

REGLAMENTOS TÉCNICOS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Volumen 2 de 2

Segunda revisión

Diciembre 2004

PREFACIO

La presente actualización de los "Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable", de la Norma NB 689: "Instalaciones de agua - Diseño para sistemas de agua potable", que sustituye a los correspondientes Reglamentos editados en noviembre de 1996, fue realizada por el Viceministerio de Servicios Básicos, a través de la Dirección General de Servicios Básicos, a cargo del Ing. MSc. Alvaro Camacho, bajo la coordinación del Ing. Alcides Franco, Director del Area de Normas y Tecnología (DANT) del MSOP, y la supervisión del Ing. MSc. Marco Quiroga, Coordinador General del Proyecto de Asistencia Técnica (PROAT).

La actualización de estos Reglamentos ha sido encomendada al Comité Técnico, integrado por los siguientes profesionales e instituciones:

COMITE TECNICO

Alcides Franco	DANT / VSB	Ronny Vega	ANESAPA
Marco Quiroga	VSB / PROAT	Evel Álvarez	AISA
Marina Dockwailer	FPS Nacional	José Luís Castagné	ABIS
Frady Torrico	FPS Nacional	Gonzalo Dalence E.	IBNORCA
Edson Valda	FNDR		
Carlos Gámez	SISAB		

La revisión de los Reglamentos se realizó en talleres regionales con la participación de los siguientes profesionales e instituciones:

Edwin Laruta	VSB	Manuel Elías	EMPRESA MISICUNI
Jorge Calderón	VSB	José Díaz	IIS-UMSA
Enrique Torrico	VSB	Francisco Bellot	IIS-UMSA
Susana Jaramillo	VSB	Edwin Astorga	IIS-UMSA
Reynaldo Villalba	VSB	Gregorio Carvajal	IIS-UMSA
Wilma Montesinos	VIPFE	Oscar Moscoso	CASA-UMSS
Erico Navarro	PROAGUAS	Oddin Chávez	UAGRM
Jorge Flores	SISAB	Roñando Tardío	UAGRM
Marco Reyes	FPS La Paz	Franz Choque	ABIS Cochabamba
Marco Gómez	FPS La Paz	Zoilo Cordero	ABIS Cochabamba
Oswaldo Valverde	FPS La Paz	Juan Carlos Holters	ABIS Santa Cruz
Ramiro Iporre	FPS Cochabamba	Víctor Rico	CARE
Mario Arnez	FPS Cochabamba	José Antonio Zuleta	UNICEF
Eduardo Cuestas	FPS Santa Cruz	Marcelo Encalada	Fundación SODIS
Ramiro Plaza	FPS Santa Cruz	Grover Calicho	PRODASUB - JICA
Edson Zelada	UNASBVI Cochabamba	Roger Mattos	Empresa GLOBAL
Percy Soria Galvarro	UNASBVI Oruro	Gery Irusta	SED FMC
Romel Chávez	Prefectura Santa Cruz	Adolfo Mantilla	SED FMC
Juan Carlos Guzmán	HAM Cochabamba	Leocanio Mendoza	CONAM SRL
Jhonny Pérez	HAM Vinto - Cochabamba	Rolando Nogales	CONAM SRL
Daniel Flores	HAM Vinto - Cochabamba	Pedro Lino	CEDEAGRO
Mario Severich	HAM Colcapirhua - Cochabamba	Jorge Saba	APSAR
Juan Carlos Agudo	SAMAPA	Heinar Azurduy	PROHISABA
Ricardo Ayala	SEMAPA	Orlando Ortuño	DASOC
Carlos Guardia	SEMAPA	Miguel Moreno	SAE LABS ECO SERVI
Rolando Montenegro	COSPHUL	Humberto Cordero	Profesional independiente
Rolando De Chazal	SAGUAPAC	Oscar Álvarez	Profesional independiente
Fernando Trigo	SAGUAPAC		

ELABORACIÓN: AGUILAR & ASOCIADOS S.R.L.

Humberto Cáceres	Gerente de Saneamiento
Carlos España Vásquez	Consultor
Grover Rivera B.	Consultor
Iván Alvarez	Diseño Gráfico

FINANCIADOR:

Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional (Asdi)

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº Nº 104

La Paz 11 DIC 2007

CONSIDERANDO:

Que, el literal e) del Artículo 3º de la Ley Nº 3351, de 2 de febrero de 2006, Ley de Organización del Poder Ejecutivo, establece como atribución general de los Ministros: "Dictar normas relativas al ámbito de su competencia y resolver en última instancia, todo asunto administrativo que corresponda al Ministerio".

Que, el literal c) del Artículo 4º de la Ley Nº 3351 Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de 21 de febrero de 2006, establece que es atribución específica del Ministro del Agua, plantear y ejecutar, evaluar y fiscalizar las políticas y planes de servicio de agua potable y saneamiento básico, riego y manejo de cuencas, aguas internacionales y transfronterizas.

Que el Artículo 61 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, establece que en la estructura del Ministerio del Agua, es la siguiente: Viceministerio de Servicios Básicos, Viceministerio de Riego y Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos.

Los literales d) y e) del Artículo 63 del Decreto Supremo Nº 28631 Reglamento a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, de fecha 8 de marzo de 2006, dispone que son funciones del Viceministro de Servicios Básicos, entre otras, las siguientes: d) Promover normas técnicas, disposiciones reglamentarias e instructivos para el buen aprovechamiento y regulación de los servicios básicos y proponer por conducto regular proyectos de leyes y otras disposiciones para el sector; e) Difundir y vigilar la aplicación de políticas, planes, proyectos y normas técnicas para el establecimiento y operación de los servicios básicos, ejerciendo tuición sobre la Superintendencia de Saneamiento Básico.

Que, el objetivo fundamental de la Norma y sus Reglamentos Técnicos es estandarizar el diseño y optimizar costos de inversión para permitir el acceso a los servicios de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales a un mayor número de personas, priorizando sectores sociales de menores ingresos económicos.

Que, la Norma y sus Reglamentos Técnicos recogen en la presente versión experiencias de la práctica moderna de la ingeniería sanitaria y de la utilización de tecnologías alternativas en el país, transmitida y consensuada mediante un proceso de amplia participación y consulta con profesionales del país.

Que, es necesaria la edición, reimpresión y difusión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, para permitir su aplicación por parte de los profesionales del sector con carácter obligatorio en el ámbito urbano y rural del país.

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

Que, de acuerdo a los Informes VSB/UNI 016/2007 y VSB/UNI – 21/07, la Unidad de Normas e Institucionalidad, del Viceministerio de Servicios Básicos del Ministerio del Agua, recomienda la edición e impresión de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, solicitando dar curso a la aprobación de la norma precitada así como a sus reglamentos.

POR TANTO:

El Ministro del Agua, en aplicación de sus atribuciones conferidas por ley.

RESUELVE:

Artículo 1º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "A".

Artículo 2º.- Aprobar los Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable, en los volúmenes 1 y 2, que forma parte integrante de la presente Resolución como Anexo "B"

Artículo 3º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "C".

Artículo 4º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", que forma parte de la presente Resolución como Anexo "D".

Artículo 5º.- Aprobar la Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras", que forman parte de la presente Resolución como Anexo "E".

Artículo 5º.- Aprobar el Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, que forman parte integrante de la presente Resolución como Anexo "F".

Artículo 6º.- La Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, aprobadas mediante la presente Resolución Ministerial, deberán ser obligatoriamente aplicadas en todo el territorio nacional, por instituciones y profesionales del sector, en el diseño de sistemas de agua potable.

Artículo 7º.- Se autoriza al Viceministerio de Servicios Básicos para que en coordinación con la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua proceda a la edición, reimpresión, difusión y distribución en forma gratuita de la Norma Boliviana NB 689 "Norma Técnica de Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable Reglamento Técnico

Calle Capitán Castrillo N° 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

de diseño de Proyectos de Agua Potable", Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable en los volúmenes 1 y 2, Norma Boliviana NB 512 "Norma Técnica de Agua Potable – Requisitos", Norma Boliviana NB 495 "Norma Técnica de Agua Potable Definiciones y Terminología", Norma Boliviana NB 496 "Norma Técnica de Agua - Potable Toma de Muestras" y Reglamento para el Control de la Calidad de Agua para el Consumo Humano de la Norma Boliviana NB 512, a Municipios, Entidades e Instituciones públicas y privadas, bibliotecas universitarias, sociedades de profesionales, programas y proyectos del sector y otros priorizados por el Viceministerio de Servicios Básicos.

Artículo 8º.- El Viceministerio de Servicios Básicos y la Dirección General de Asuntos Administrativos del Ministerio del Agua, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 9º.- Se abroga la Resolución Ministerial Nº 230/2004, de 07 de septiembre de 2004, emitida por el Ministerio de Servicios y Obras Publicas. Quedan abrogadas y derogadas todas las resoluciones contrarias a la presente Resolución Ministerial.

Regístrese, comuníquese, cúmplase y archívese.

Alcides Franco Torrico
VICEMINISTRO DE SERVICIOS BASICOS E.I.
MINISTERIO DEL AGUA

Walter Valda Rivera
MINISTRO DEL AGUA

Calle Capitán Castrillo Nº 434, entre Av. 20 de Octubre y C. Héroes del Acre. Teléfono-Fax 2115571. La Paz - Bolivia

PRESENTACIÓN

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas, a través del Viceministerio de Servicios Básicos, pone a disposición de los profesionales del país los presentes “Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable”, actualizados tomando en cuenta los avances tecnológicos y los requerimientos del Sector en Bolivia.

Los presentes Reglamentos tienen como objetivo fundamental reglamentar el diseño y consecuentemente la construcción de los sistemas de agua potable, para asegurar la entrega de obras de calidad que faciliten la provisión de un servicio adecuado que perdure en el tiempo, mejorando las condiciones de vida y salud del ciudadano boliviano.

Estos Reglamentos deben ser conocidos y aplicados de forma obligatoria por los responsables del diseño e implementación de proyectos de abastecimiento de agua potable, a nivel urbano, periurbano y rural. En los presentes Reglamentos se han incluido nuevos conceptos y criterios de diseño acordes con los adelantos tecnológicos y prácticas de la ingeniería sanitaria, de manera que puedan ser aplicados en proyectos de agua potable a nivel urbano, periurbano y rural.

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas valora el esfuerzo y dedicación de los profesionales e instituciones que de manera desinteresada contribuyeron para que nuestro país cuente con este valioso instrumento técnico.

INTRODUCCION

El diseño de sistemas de agua potable para poblaciones urbanas, periurbanas y rurales de la República de Bolivia, se ha venido desarrollando en base a la Norma Técnica de Diseño para Sistemas de Agua Potable - NB 689 y a los Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable promulgadas por el entonces Ministerio de Desarrollo Humano, en noviembre del año 1996.

Debido a los avances tecnológicos sobre el diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable que se han dado en los ultimos años, el Ministerio de Servicios y Obras Públicas, a través del Viceministerio de Servicios Básicos, ha encarado la actualización de la Norma NB 689 y sus Reglamentos, con el propósito de incorporar y modificar conceptos, criterios y fórmulas que se ajusten a la realidad actual para el diseño de sistemas de agua potable en nuestro país. Para el efecto, se han tomado en cuenta las inquietudes de instituciones, profesionales y técnicos que trabajan en el sector.

OBJETO

Los presentes Reglamentos establecen los criterios técnicos de diseño de sistemas de agua potable de carácter público y/o privado, en el área urbana, periurbana y rural para obtener obras con calidad, seguridad, durabilidad y economía; y de esa manera, contribuir al mejoramiento del nivel de vida y salud de la población.

CAMPO DE APLICACIÓN

Estos Reglamentos se aplican a nivel nacional para el diseño, ejecución o control de sistemas de agua potable públicos y/o privados.

Es obligatorio el conocimiento y aplicación de los Reglamentos por el proyectista, ejecutor, supervisor y fiscalizador de los proyectos de agua potable. Sin embargo, se podrán aplicar criterios de diseño, constructivos y métodos de control no especificados en los presentes toda vez que se justifiquen técnicamente ante la Autoridad Competente.

ÍNDICE GENERAL

VOLUMEN 1

REGLAMENTO TÉCNICO DE ESTUDIOS Y PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE 9

REGLAMENTO TÉCNICO DE FUENTES PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE 33

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE OBRAS DE CAPTACIÓN PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE.....49

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE POZOS PROFUNDOS PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE 99

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE ADUCCIONES PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE.....123

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE.....211

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE.....249

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE.....277

REGLAMENTO TÉCNICO DE VÁLVULAS, TUBERÍAS Y ACCESORIOS PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE 319

GLOSARIO DE TÉRMINOS, NOMENCLATURA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 335

VOLUMEN 2

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO PARA PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA.....359

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE DESINFECCIÓN PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE 533

GLOSARIO DE TÉRMINOS, NOMENCLATURA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 553

Reglamento Nacional NB 689

MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS
VICEMINISTERIO DE SERVICIOS BÁSICOS

REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO PARA PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA

Segunda revisión

Diciembre 2004

ÍNDICE

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES 369

1.1OBJETO 369
1.2 CAMPO DE APLICACIÓN 369
1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL DISEÑO UNA PLANTA POTABILIZADORA 369

CAPÍTULO 2
PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA....371

2.1 DEFINICIÓN 371
2.2 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE PLANTAS 371
2.2.1 Tratamiento de las aguas....371
2.2.1.1 Procesos y operaciones de tratamiento 371
2.2.1.2 Caracterización y análisis de los parámetros de calidad....373
2.2.1.3 Selección de fuentes alternativas de agua (superficial y subterránea). 373
2.2.2 Tecnología aplicada. 374
2.2.2.1 Selección del tratamiento y tecnología asociada....374
2.2.2.2 Tecnología alternativa 375
2.2.2.3 Participación de la Comunidad 375
2.2.3 Operación y mantenimiento de las plantas potabilizadoras 375
2.2.3.1 Manuales y documentación 375
2.2.3.2 Análisis de vulnerabilidad....376
2.2.4 Aspectos económicos y financieros 376
2.2.4.1 Costos de inversión, operación y mantenimiento 376
2.3 DEMANDA DE AGUA. 377
2.4 PERIODO DE DISEÑO....377
2.5 UBICACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO....377
2.6 CAPACIDAD NOMINAL DE LAS PLANTAS 378
2.7 ETAPAS O FASES DEL PROYECTO....378
2.8 LÍNEAS DE TRATAMIENTO 378
2.9 MEDICIÓN DE CAUDALES....378
2.10 REGULADORES DE RÉGIMEN HIDRÁULICO 379

CAPÍTULO 3
CONCEPTOS GENERALES 380

3.1 TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 380
3.1.1 Sólo Desinfección, o sin Tratamiento 380
3.1.2 Remoción de Hierro, Manganeso, o ambos, más desinfección 380
3.1.3 Ablandamiento por precipitación con cal 381
3.2 TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES 382
3.2.1 Desinfección solamente sin filtración.....382
3.2.2 Tratamiento convencional 383
3.2.3 Tratamiento convencional con pretratamiento....383
3.2.4 Procesos para fuentes de elevada calidad....383
3.2.5 Tratamientos con tecnología apropiada con la adición de sustancias químicas 384
3.2.6 Tratamiento de agua por múltiple etapa 384

3.2.6.1 Filtración en Múltiples Etapas FiME 385
3.2.6.2 Aplicación de FiME 385
3.2.6.3 Recomendaciones sobre la selección de la tecnología FiME 386

CAPÍTULO 4
PLANTAS POTABILIZADORAS CONVENCIONALES
UNIDADES DE PRETRATAMIENTO 387

4.1 DEFINICIÓN 387
4.2 CRIBADO O CERNIDO (DESBASTE).....387
4.2.1 Parámetros de diseño:.....387
4.2.2 Dimensionamiento 388
4.3 DESARENADORES.....388
4.3.1 Parámetros de diseño.....388
4.3.2 Dimensionamiento 390
4.4 PRESEDIMENTADORES 391
4.4.1 Parámetros de diseño.....391
4.4.2 Dimensionamiento 393

CAPÍTULO 5
PROCESOS UNITARIOS EN PLANTAS POTABILIZADORAS:
PRETRATAMIENTO AIREACIÓN Y TRANSFERENCIA DE GASES 397

5.1 DEFINICIÓN 397
5.2 SOLUBILIDAD DE LOS GASES.....397
5.3 SISTEMAS DE AIREACIÓN 398
5.3.1 Aireadores de bandejas 398
5.3.2 Parámetros de diseño.....399
5.3.3 Dimensionamiento 399
5.3.4 Aireadores de cascada 399
5.3.5 Parámetros de diseño.....399
5.3.6 Dimensionamiento 400
5.4 OTROS TRATAMIENTOS.....400

CAPÍTULO 6
TRATAMIENTO QUÍMICO EN PLANTAS
POTABILIZADORAS CONVENCIONALES.....401

6.1 DEFINICIÓN 401
6.2 SUSTANCIAS COAGULANTES 401
6.3 SUSTANCIAS COADYUVANTES DE LA COAGULACIÓN.....402
6.4 SUSTANCIAS DESINFECTANTES 402
6.5 MANEJO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS 403
6.5.1 Procedimiento de cálculo de soluciones.....404

CAPÍTULO 7
UNIDADES DE MEZCLA RÁPIDA 405

7.1 DEFINICIÓN 405
7.2 DISPERSIÓN DE COAGULANTES.....405
7.2.1 Relación entre tipo de coagulación y dispersión de los coagulantes. 405
7.2.2 Gradientes y tiempos óptimos para mezcla rápida por coagulación.....405

7.2.3 Mezcladores de flujo de pistón 405
7.2.3.1 Canaleta Parshall 406
7.2.3.1.1 Parámetros de diseño 406
7.2.3.1.2 Dimensionamiento 408
7.2.3.2 Mezclador de resalto hidráulico 410
7.2.3.2.1 Parámetros de diseño 410
7.2.3.2.2 Dimensionamiento 411
7.2.4 Mezcladores rápidos mecánicos 412
7.2.4.1 Parámetros de diseño 413
7.2.4.2 Dimensionamiento 414

CAPÍTULO 8
UNIDADES DE FLOCULACIÓN 415

8.1 DEFINICIÓN 415
8.2 FLOCULADORES HIDRÁULICOS 415
8.2.1 Floculador de flujo horizontal 415
8.2.1 Floculador de flujo horizontal 415
8.2.1.1 Parámetros de diseño 415
8.2.1.2 Dimensionamiento 415
8.2.2 Floculador de flujo vertical 418
8.2.2.1 Parámetros de diseño 418
8.2.2.2 Dimensionamiento 419
8.3 FLOCULADORES MECÁNICOS 421
8.3.1 Parámetros de diseño 421
8.3.2 Dimensionamiento 422

CAPÍTULO 9
UNIDADES DE SEDIMENTACIÓN DE ALTA TASA Y FLOTACIÓN 424

9.1 DEFINICIÓN 424
9.2 SEDIMENTADORES DE FLUJO ASCENDENTE 424
9.3 SEDIMENTADORES DE FLUJO DESCENDENTE 424
9.3.1 Parámetros de diseño 424
9.3.2 Dimensionamiento 425
9.4 PRODUCCIÓN DE LODOS 427
9.5 FLOTACIÓN 427
9.5.1 Parámetros de diseño 427
9.5.2 Dimensionamiento 427

CAPÍTULO 10
UNIDADES DE FILTRACIÓN EN LECHO GRANULAR 428

10.1. DEFINICIÓN 428
10.2 FILTROS RÁPIDOS DE VELOCIDAD CONSTANTE 428
10.2.1 Parámetros de diseño 428
10.2.2 Dimensionamiento 428

CAPÍTULO 11
FILTROS RÁPIDOS DE CONTROL HIDRÁULICO Y TASA DECLINANTE 436

11.1 DEFINICIÓN 436

11.2 FILTROS RÁPIDOS DE CONTROL HIDRÁULICO Y TASA DECLINANTE 436
11.2.1 Funcinamiento de las unidades 436
11.2.2 Parámetros de diseño 437
11.2.3 Estructura de entrada y salida en filtros rápidos.....437
11.2.4 Drenaje de fondo.....438
11.2.5 Capa soporte.....438
11.2.6 Capa filtrante 438
11.2.7 Altura de agua 438
11.2.8 Lavado de los filtros 438
11.2.9 Altura del filtro de tasa declinante 439

CAPÍTULO 12
FILTROS DE FLUJO ASCENDENTE DESCENDENTE 440

12.1 DEFINICIÓN 440
12.2. FILTROS DE FLUJO ASCENDENTE - DESCENDENTE.....440
12.2.1 Parámetros de diseño.....440
12.2.2 Estructura de entrada y salida 441
12.2.3 Drenaje de fondo 441
12.2.4 Capa soporte.....441
12.2.5 Capa filtrante.....441
12.2.6 Altura de agua.....441
12.2.7 Lavado de los filtros.....441
12.2.8 Altura de filtros 442

CAPÍTULO 13
PLANTAS DE TRATAMIENTO SIN USO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS
FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS FiME.....443

13.1 DEFINICIÓN 443
13.2 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES.....443
13.2.1 Filtros Gruesos Dinámicos (FGDi).....443
13.2.2 Filtros Gruesos (FG) 443
13.2.3 Filtro Lento en arena (FLA).....444
13.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO 444
13.4 FILTRACIÓN GRUESA DINÁMICA (FGDi).....445
13.4.1 Descripción General.....445
13.4.2 Componentes principales del FGDi 445
13.4.3 Parámetros de diseño.....446
13.4.4 Eficiencia de Remoción 446
13.4.5 Dimensionamiento 447
13.5 FILTRACIÓN GRUESA ASCENDENTE (FGA).....447
13.5.1 Descripción General.....447
13.5.2 Componentes principales del FGAS.....448
13.5.3 Parámetros de diseño.....449
13.5.4 Eficiencia de Remoción 450
13.6 FILTRACIÓN GRUESA DESCENDENTE (FGD).....450
13.6.1 Eficiencia de remoción.....450
13.7 FILTRACIÓN GRUESA HORIZONTAL (FGH) 451
13.7.1 Eficiencia de remoción.....451
13.8 FILTRACIÓN LENTA EN ARENA (FLA) 451
13.8.1 Descripción General.....451

13.8.2 Componentes principales del FLA 452
13.8.3 Calidad de Agua 453
13.8.4 Consideraciones de diseño 453
13.8.5 Determinación del número de módulos de filtración 454
13.8.6 Dimensionamiento de módulos de filtración 454

CAPÍTULO 14
GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS/LÍQUIDOS Y GASEOSOS DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA 456

14.1 DEFINICIÓN 456
14.2 RESIDUOS SÓLIDOS/LÍQUIDOS (LODOS) EN PLANTAS POTABILIZADORAS 456
14.2.1 Almacenamiento 456
14.2.2 Extracción de lodos 457
14.2.3 Cantidad de residuos sólidos y líquidos generados 458
14.2.4 Características de los lodos 459
14.2.5 Tratamiento 461
14.2.6 Disposición final de lodos 463
14.2.7 Residuos líquidos 463
14.2.8 Residuos gaseosos 464

ANEXOS

ANEXO "A"
EFECTIVIDAD GENERAL DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES SOLUBLES 467

ANEXO "B"
- CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA SELECCIÓN DE LA FUENTE 468
- CRITERIOS DE SELECCIÓN DE TRATAMIENTO SEGÚN LA CALIDAD DEL AGUA CRUDA, PLANTAS CONVENCIONALES 472

ANEXO "C"
- ANÁLISIS BÁSICOS RECOMENDABLES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA DESTINADAS A CONSUMO HUMANO EN POBLACIONES MENORES A 10 000 HABITANTES 473
- VALORES MÁXIMOS ACEPTABLES POR LA NORMA BOLIVIANA NB 512 (AGUA POTABLE - REQUISITOS) 474

ANEXO "D"
- GUÍA GENERAL DE PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS 475
- GUÍA DE SELECCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO EN SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE MÚLTIPLES ETÁPAS 476

ANEXO "E"
Figuras - Sedimentación 477

ANEXO "F"
Gráficos, figuras - Aireación 483

ANEXO "G"
Figuras - Mezcla rápida 489

ANEXO "H"
Figuras - Floculación.....493

ANEXO "I"
Figuras - Sedimentación de alta tasa, flotación.....497

ANEXO "J"
Figuras - Filtración rápida 505

ANEXO "K"
Figuras - Filtración de tasa declinante.....507

ANEXO "L"
Figuras - Filtración de flujo ascendente - descendente 511

ANEXO "M"
Figuras - Filtración Gruesa Dinámica, Filtración Gruesa
Ascendente 515

ANEXO "N"
Figuras - Filtración Lenta en Arena.....521

ANEXO "O"
Figuras - Manejo, tratamiento y disposición de lodos 525

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 4
Tabla 1. Cargas superficiales en desarenadores.....389
Tabla 2. Cargas superficiales según Hazen 389
Tabla 3. Parámetros de diseño 393

CAPÍTULO 5
Tabla 1. Solubilidad de los gases a diferentes temperaturas y altitudes
sobre el nivel del mar (m. s. n. m).....398
Tabla 2. Parámetros de diseño - aireadores de bandejas.....399
Tabla 3. Parámetros de diseño - aireadores de cascada 400

CAPÍTULO 6
Tabla 1. Compuestos coagulantes de uso en tratamientos de aguas
de consumo humano 401
Tabla 2. Coadyuvantes de coagulación utilizados para el tratamiento de aguas.....402
Tabla 3. Compuestos desinfectantes utilizados para el tratamiento de aguas.....403

CAPÍTULO 7
Tabla 1. Grado de sumergencia en función a la garganta.....406
Tabla 2. Valores de K y m según el tamaño de la garaganta W 407
Tabla 3. Dimenciones estandarizadas de los medidores Parshall 408

Tabla 4. Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta a diferentes temperaturas 410
Tabla 5. Variación entre la densidad del agua, la viscosidad y la temperatura 413
Tabla 6. Número de Potencia para diferentes tipos de impulsores 414
Tabla 7. Tiempo de contacto y gradiente hidraulico para mezcla rápida 414

CAPÍTULO 8

Tabla 1. Rango de gradientes hidraulicos para cada compartimiento o cámara 415
Tabla 2. Guías de diseño y construcción - floculador de flujo horizontal 418
Tabla 3. Guías de diseño y construcción - floculador de flujo vertical 421

CAPÍTULO 10

Tabla 1. Longitudes y diámetros de tuberías laterales 431
Tabla 2. Espesores y diámetros de la grava soporte 432
Tabla 3. Arena para filtros de tasa constante 433
Tabla 4. Alturas máximas y mínimas 434

CAPÍTULO 11

Tabla 1. Tasas de filtración 437
Tabla 2. Granulometría de la capa soporte 438
Tabla 3. Valores admisibles en lechos filtrantes múltiples 438
Tabla 4. Alturas de filtro de tasa declinante 439

CAPÍTULO 12

Tabla 1. Tasa de filtración y lavado 440
Tabla 2. Características del medio filtrante 441
Tabla 3. Altura total de filtros 442

CAPÍTULO 13

Tabla 1. Criterios para la selección del sistema de tratamiento de agua por Filtración en Múltiples Etapas (FiME) 444
Tabla 2. Guías de diseño para Filtros Gruesos Dinámicos 446
Tabla 3. Especificaciones del lecho filtrante recomendado para Filtros Gruesos Dinámicos 446
Tabla 4. Eficiencia remocional 447
Tabla 5. Guías de diseño para Filtros Gruesos Ascendentes 449
Tabla 6. Lecho filtrante recomendado para Filtros Gruesos Ascendentes 449
Tabla 7. Eficiencias típicas de tratamiento por Filtros Gruesos Ascendentes 450
Tabla 8. Guías de diseño para Filtros Gruesos Descendentes 450
Tabla 9. Guías de diseño para Filtros Gruesos Horizontales en Serie 451
Tabla 10.Criterios de diseño recomendados por autores y países 454

CAPÍTULO 14

Tabla 1. Características de los lodos de sales de aluminio y hierro 460
Tabla 2. Características de los lodos de ablandamiento por precipitación 460
Tabla 3. Características de las aguas de lavado de filtros 460
Tabla 4. Criterios de diseño de filtros de vacio para el secado de lodos de alúmina y cal 462
Tabla 5. Características de lodos provenientes de la purificación de agua para el tratamiento sobre el suelo 463

PARTICIPANTES

Las Instituciones y profesionales que participaron en la revisión y actualización del presente Reglamento fueron los siguientes:

Alvaro Camacho	Director General de Servicios Básicos VSB
Alcides Franco	Director de Area de Normas y Tecnología VSB
Marco Quiroga	Coordinador General PROAT
Enrique Torrico	VSB
Edwin Laruta	VSB
Gonzalo Dalence	IBNORCA
Ronny Vega	ANESAPA
Evel Álvarez	AISA
Ricardo Ayala	SEMAPA
Zoilo Cordero	ABIS - COCHABAMBA
Francisco Bellot	IIS - UMSA
Edwin Astorga	IIS - UMSA
Oscar Moscoso	CENTRO DE AGUAS - UMSS
Miguel Moreno	SAE - LABS - ECO SERVI
Oddin Chávez	UAGRM - UTALAB
Rolando Tardio	UAGRM - LMA
Humberto Cordero	profesional independiente

ELABORACIÓN
AGUILAR & ASOCIADOS S.R.L.

Humberto Cáceres	Gerente de Saneamiento Básico
Carlos España	Consultor
Grover Rivera	Consultor
Iván Alvarez	Diseño Gráfico

FINANCIADOR
Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional (Asdi)

CAPÍTULO 1
GENERALIDADES

1.1 OBJETO

(1) El presente Reglamento tiene por objeto, establecer los criterios técnicos, parámetros y condiciones mínimas, que deben cumplir los proyectos de diseño de plantas potabilizadoras de agua.

1.2 CAMPO DE APLICACIÓN

(1) Este Reglamento se aplica a proyectos nuevos de diseño, ampliación, renovación y mejoramiento de Plantas Potabilizadoras de Agua, en ámbitos urbano, peri urbano, y rural, tomando en consideración sistemas convencionales y de tecnología apropiada acorde a criterios de sostenibilidad.

(2) Este Reglamento considera en forma integrada al tratamiento de las aguas, el manejo de los residuos producidos en las Plantas de Potabilización.

(3) Este Reglamento no se aplica al tratamiento de aguas que contengan substancias que confieren al agua una calidad no apta para el consumo y cuya remoción depende de métodos de tratamiento no considerados en el presente reglamento.

(4) Este Reglamento no se aplica en instalaciones de tratamiento destinadas a atender situaciones de emergencia debida a desastres.

(5) Es obligatorio el conocimiento y aplicación del Reglamento de Diseño de Plantas Potabilizadoras de Agua, por el proyectista, ejecutor y fiscalizador de la obra. Sin embargo, se podrán aplicar criterios de diseño, constructivos y métodos de control no especificados en el presente Reglamento, toda vez que se justifiquen técnicamente ante la Autoridad Competente.

1.3 ACTIVIDADES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DEL DISEÑO UNA PLANTA POTABILIZADORA

(1) La elaboración de un proyecto de diseño de una planta potabilizadora de agua comprende las siguientes actividades:

a) Analizar la tratabilidad de las aguas según la fuente, basada en la caracterización físico - química, bacteriológica y radiológica.

b) Establecer la tecnología que se aplicará para el tratamiento.

c) Conceptuar el diseño según criterios de operación y mantenimiento factibles de aplicar.

d) Establecer aspectos económicos financieros (costos de inversión, operación y mantenimiento).

e) Determinar la demanda de agua para los diferentes usuarios.

f) Definir el periodo de diseño según las características poblacionales y el contexto socio - económico.

g) Ubicar la planta de tratamiento.

h) Determinar la capacidad nominal de la planta potabilizadora.

i) Definir las etapas o fases de construcción, ampliación a ser consideradas.

j) Definir las líneas de tratamiento.

k) Establecer el sistema de regulación de régimen hidráulico.

l) Definir los procesos y operaciones unitarias requeridas para el tratamiento.

CAPÍTULO 2
PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA

2.1 DEFINICIÓN

(1) Conjunto de unidades convenientemente dispuestas y en sucesión adecuada que tienen la finalidad de transformar el agua cruda en agua de calidad garantizada y apta para el consumo humano, a través de procesos y operaciones unitarias. Comprende también el conjunto de obras de infraestructura civil, instalaciones y equipos.

(2) La Calidad garantizada y apta para el consumo humano significa que desde el punto de vista organoléptico sea agradable a los sentidos, químicamente no incluya sustancias toxicas y bacteriológicamente no contenga microorganismos que afectan a la salud, cumpliendo los requisitos establecidos en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable-Requisitos).

2.2 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE PLANTAS

(1) El presente Reglamento conlleva la optimización de los parámetros de diseño de acuerdo a las prácticas avanzadas de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental, de tal manera que refleja minimización de costos de construcción, operación y mantenimiento como base fundamental de la sostenibilidad.

(2) La calidad de las aguas está relacionada con los riesgos sanitarios y las medidas de protección que se pueda dar a las fuentes. Véase Reglamento Técnico de Fuentes de Agua para Sistemas de Agua Potable Capitulo 5.

2.2.1 Tratamiento de las aguas

(1) El tratamiento de las aguas destinadas a consumo humano debe tomar en cuenta los procesos y operaciones que se requieran para la remoción de los contaminantes presentes en las aguas de acuerdo a la caracterización y análisis de los parámetros de calidad de una determinada fuente de abastecimiento de agua.

2.2.1.1 Procesos y operaciones de tratamiento

(1) Los factores que están incluidos en las decisiones de los procesos de tratamiento del agua son los siguientes:

a) Remoción de contaminantes.
b) Calidad del agua en la fuente de origen.
c) Factores de fiabilidad de los procesos.

a) Remoción de contaminantes

(1) Se deben remover los contaminantes de las aguas en consideración a los posibles efectos que causan sobre la salud.

(2) Para el tratamiento de los contaminantes solubles se deben aplicar los procesos descritos en la **Tabla 1** del **Anexo A.**

(3) Para la remoción de contaminantes en forma de partículas se aplicarán procesos de sedimentación y filtración.

(4) Se debe recabar información específica sobre las capacidades de los procesos previa selección de un tren de tratamiento para una planta para la fuente de agua en cuestión. Los estudios en plantas piloto o pruebas de laboratorio (Prueba de Jarras) son el medio adecuado para desarrollar y generar información sobre procesos de tratamiento.

b) Calidad de las aguas en la fuente de origen

(1) La calidad de las aguas debe ser tal, que sean aptas para el consumo humano. Los criterios de selección de las fuentes de agua están dados de acuerdo a la clasificación de los Grupos I, II, II, IV, y V, del **Anexo B** que toman en consideración aspectos físico–químicos y bacteriológicos, considerando adicionalmente parámetros complementarios de calidad: Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5, el Oxígeno Disuelto OD, la concentración de Cloruros, como indicador indirecto de contaminación fecal.

(2) Se debe comparar la calidad del agua en la fuente de origen y la calidad deseable del agua tratada, la cual estará circunscrita a lo exigido en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos). Con el conocimiento de los cambios que deben alcanzarse en la calidad del agua, el proyectista debe identificar uno o más procesos de tratamiento capaces de conseguir la mejora o incremento de calidad.

(3) Cuando se tratan aguas de superficie se debe tomar en cuenta el concepto de barrera múltiple para la protección de la salud pública. Las fuentes sujetas a contaminación fecal de población humana o animal requieren múltiples barreras físicas de remoción (sedimentación, filtración y desinfección). La **Tabla 1** de **Anexo B** muestra los criterios de selección del tratamiento en función a la calidad del agua cruda para plantas convencionales.

c) Factores de fiabilidad de los procesos

(1) Son los factores que permiten decidir y seleccionar el proceso de tratamiento. Debe evaluarse sobre la base de casos de estudio y caso por caso. Factores de fiabilidad en una situación pueden no aplicarse a otra. Los factores que afectan la fiabilidad comprenden:

a) El rango de calidad del agua en la fuente de origen versus la calidad que el proceso puede tratar con éxito.

b) Tasa de cambio de calidad del agua original (lenta gradual o muy rápida y severa).

c) Nivel de formación y experiencia de los operadores.

d) Modo de operación (turnos por día).

e) Cantidad de instrumentación asociada al proceso.

f) Capacidad para el mantenimiento de instrumentos y equipos (calibración).

g) Fiabilidad del suministro eléctrico.

h) Capacidad para evitar o minimizar el deterioro de la calidad del agua en origen a largo plazo.

2.2.1.2 Caracterización y análisis de los parámetros de calidad

(1) La contaminación de las fuentes de agua se produce a través del ciclo hidrológico, los contaminantes pueden ser concentrados, diluidos o transportados a través del ciclo y afectar al agua potable. Por tanto, se debe caracterizar en la época de estiaje así como en la de lluvias mediante análisis físico-químicos y bacteriológicos realizados en laboratorios especializados y por personal capacitado.

(2) Para proyectos nuevos o de ampliación en medio urbano, (poblaciones mayores a 10 000 habitantes), los parámetros a ser analizados en la fase de caracterización serán todos los parámetros especificados en la Norma NB 512 (Agua Potable – Requisitos), a excepción de los compuestos inorgánicos tales como el cloro o los compuestos orgánicos que provienen o resultan del tratamiento de las aguas (Acrilamida y Epiclorhidrina).

(3) Podrán no analizarse los parámetros correspondientes a los compuestos orgánicos tales como el benceno, Benzo(a)pireno, cloroformo, THM, cloruro de vinilo y cualquier hidrocarburo, plaguicidas totales , o plaguicidas específicos, metales pesados, así como la radiactividad en las aguas, exigidos en la Norma NB 512 si se verifica que en la zona de proyecto no existe actividad industrial, agrícola, minera intensa que de indicios de la contaminación de las aguas por efecto de las descargas de aguas residuales. En todo caso el proyectista justificará ante Autoridad Competente la no necesidad de realizarlos.

(4) Los análisis físico – químicos, bacteriológicos de las aguas y el radiológico de ser necesario, se deben realizar en laboratorios especializados y por personal técnico capacitado.

(5) Para proyectos nuevos o de ampliación en ciudades intermedias y rurales (poblaciones menores a 10 000 habitantes), se deben realizar los análisis en laboratorios especializados, por personal técnico capacitado, que determinen la composición de las mismas en consideración los parámetros físico – químicos y bacteriológicos que se muestran en la **Tabla 1** del **Anexo C,** donde se especifican los parámetros, sus unidades y el tiempo máximo de preservación recomendado para efectuar el análisis.

(6) No queda excluida la posibilidad de ampliar los parámetros físico - químicos, bacteriológicos y radiológicos a analizar, si el proyectista considera necesario hacerlo, de acuerdo a las características de la zona y los antecedentes existentes relacionados con la actividad que desarrolla (minera, agrícola, industrial) y tengan efectos sobre la calidad de las aguas.

(7) En la **Tabla 2** del **Anexo C**, se especifica el valor máximo aceptable de los parámetros físico – químicos y bacteriológicos correspondientes a los de **Tabla 1** del **Anexo C**; valores establecidos en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable Requisitos)

2.2.1.3 Selección de fuentes alternativas de agua (superficial y subterránea)

(1) Se deben establecer las ventajas y desventajas del uso de aguas de origen subterráneo frente a las fuentes superficiales en los diferentes escenarios donde el agua sea provista (área urbana, peri urbana y rural).

(2) Se debe considerar el uso de fuentes alternativas cuando se está evaluando una planta existente, o cuando está en estudio una diferente y más costosa.

(3) Cuando los costos de tratamiento son altos, se debe considerar las siguientes opciones:

a) Una fuente de agua superficial y otra fuente distinta de agua subterránea (pozo).
b) Pozo de agua subterránea en vez de agua superficial.
c) Represado de aguas de río o infiltraciones en vez de la captación de aguas superficiales.

(4) La selección de fuentes se debe tomar en cuenta que, para sistemas de agua grandes o medianos, la conexión a diferentes fuentes de agua superficial o fuentes subterráneas puede ser dificultosa, a causa de la magnitud de la demanda de agua cruda. El proyectista debe evaluar técnica y económicamente la selección de fuentes, analizando escenarios que muestren su factibilidad.

(5) Los sistemas de agua pequeños con bajas densidades poblacionales pueden obtener más fácilmente acceso a otras fuentes a menores distancias, para los cuales se debe analizar que el transporte de agua sea económicamente factible.

2.2.2 Tecnología aplicada

(1) La Selección del tratamiento y tecnología asociada al mismo debe tomar en cuenta tecnologías alternativas apropiadas al medio donde se aplican y la participación comunitaria en la búsqueda y toma de decisiones.

2.2.2.1 Selección del tratamiento y tecnología asociada

(1) Para cada tipo de agua existen parámetros de diseño específicos, que optimizan los procesos, produciendo la máxima eficiencia remocional.

(2) Para la calidad de agua que requiere del proceso de coagulación se debe establecer una dosis óptima que varía en función del pH y de la concentración de coloides presentes en el agua cruda. Dosis menores a la óptima no desestabilizan los coloides y con dosis mayores se pueden reestabilizar deteriorando la calidad del efluente.

(3) Para obtener una eficiencia determinada, se debe tomar en cuenta un tiempo de retención mínimo. Por debajo de este tiempo se reportan menores eficiencias. Para cada tiempo de retención dado existe un gradiente de velocidad óptimo, que al ser superado cuando el flóculo ya alcanzó su tamaño máximo, se generan esfuerzos cortantes que destruyen el flóculo y el consiguiente deterioro de la calidad del efluente. Estos conceptos se deben aplicar a las plantas piloto si se determina construirlas o al realizar pruebas de laboratorio. En laboratorio se debe emplear el equipo de la “Prueba de Jarras”, como elemento de control del proceso de coagulación como modelo predictivo. De la prueba de jarras se deben definir las siguientes variables:

I. Determinación de la dosis óptima de coagulante.
II. Concentración óptima de coagulante.
III. pH óptimo de coagulación.
IV. Selección de ayudantes de coagulación.
V. Parámetros de floculación (gradiente hidráulico y tiempo).
VI. Parámetros de sedimentación.
VII. Parámetros de filtración directa (dosis y pH óptimo, gradientes y tiempos de floculación).
VIII. Parámetros de desinfección.

(4) Calidades de agua que no requieren procesos de coagulación, deben contar con estudios de sedimentabilidad, filtrabilidad y desinfección en modelos piloto o a escala de laboratorio, o ensayos *in situ* debidamente justificados.

2.2.2.2 Tecnología alternativa

(1) La tecnología de filtración rápida de agua químicamente coagulada no es una solución sostenible en pequeñas localidades o asentamientos humanos, por sus limitaciones de infraestructura, capacidad institucional y capacidad de pago.

(2) Las alternativas para el mejoramiento de la calidad de las aguas en pequeños asentamientos humanos que utilizan fuentes de agua superficial deben estar centradas en la tecnología de Filtración en múltiples etapas FiME.

(3) Se debe considerar como otra alternativa para el acondicionamiento de la calidad del agua cruda la tecnología de la filtración lenta en arena FLA, precedida de una desinfección.

2.2.2.3 Participación de la Comunidad

(1) Se debe lograr la participación de la comunidad en la búsqueda de soluciones sostenibles, ya que a través de sus representantes tendrá la oportunidad de manifestar sus necesidades y puntos de vista en las diferentes etapas del proyecto (gestación y ejecución y funcionamiento).

(2) Se debe lograr la participación comunitaria a tiempo de la toma de decisiones relacionadas con la implementación de un sistema de agua potable. De esta manera se asegura un sentido de pertenencia del sistema, se determina la capacidad, la voluntad de pago por el nivel de servicio requerido y la capacidad de operación y mantenimiento del sistema.

(3) Se debe incluir en los proyectos documentación que avale la participación comunitaria en las instancias de búsqueda y la toma de decisiones.

2.2.3 Operación y mantenimiento de las plantas potabilizadoras

(1) Se debe diseñar la planta potabilizadora de agua con criterios de operación y mantenimiento factibles para el contexto socio - cultural donde se desarrolle el proyecto.

(2) Se debe documentar en el proyecto los criterios y actividades propios de la operación y mantenimiento de la planta potabilizadora a través de manuales.

2.2.3.1 Manuales y documentación

(1) Se debe disponer de manuales de operación de los diferentes elementos que compone una planta y planos a detalle, ello permitirá tener continuidad y eficiencia durante el proceso de tratamiento en los casos de operación normal de la planta, es decir cuando está produciendo el caudal para el cual fue diseñada y con la calidad requerida. También para operación especial o eventual de la planta, que es cuando se producen daños menores, fallas de energía de corta duración que representen cese de operación total o parcial de la planta sin que se presenten daños graves.

(2) Se debe prever una operación de emergencia, cuando se producen fallas de energía de larga duración, fallas en las estructuras y equipos esenciales, en caso de terremotos, incendios, inundaciones, cambios bruscos en la calidad de las aguas.

(3) Se debe disponer de manuales de mantenimiento para los casos de operación normal, especial o eventual y el mantenimiento de emergencia y un manual para el control de calidad.

2.2.3.2 Análisis de vulnerabilidad

(1) Uno de los componentes más vulnerable es la tubería de aducción. Si ésta sale de operación, la planta de tratamiento debe salir de operación en forma obligada, por tanto se debe prever obras de protección que minimicen la probabilidad de colapso.

(2) Las estructuras de una instalación de tratamiento deben ser diseñadas contra los sismos, de acuerdo a las intensidades que se produzcan en la zona. A este fenómeno esta asociado la falla de energía y el daño en tuberías. Debe desarrollarse un plan de contingencias ante esta eventualidad que permita el suministro controlado.

(3) Los incendios son comunes en las instalaciones y se presentan con frecuencia en los motores y arrancadores. En plantas de bajo nivel de mecanización se presenta con baja frecuencia, sin embargo, se debe contar con un plan de contingencia que minimice efectos en las instalaciones y el riesgo laboral.

(4) Como consecuencia de rotura de tuberías, rebose de reservorios o desborde de ríos se presentan las inundaciones. Se deben aislar las tuberías conductoras de agua cruda. En casos más severos se debe evaluar los daños y aplicar programas de contingencia específicos que permitan tomar medidas oportunas.

2.2.4 Aspectos económicos y financieros

(1) La economía y el aspecto financiero de un proyecto de diseño de planta potabilizadoras deben tomar en cuenta los costos de inversión, operación y mantenimiento.

2.2.4.1 Costos de inversión, operación y mantenimiento

(1) Las variables que inciden en los costos de inversión de un sistema de tratamiento y se deben tomar en cuenta son:

a) Caudal de agua a tratar.
b) Tipo de planta (tecnología adoptada).
c) Criterios de diseño.
d) Costo de materiales (locales e importados).
e) Costo de mano de obra (local e importada).
f) Localización geográfica.
g) Transporte.
h) Condiciones climáticas.
i) Nivel de competencia entre empresas constructoras.
j) Costo de diseño.

(2) Los factores que inciden en el costo de administración, operación y mantenimiento y se deben tomar en cuenta son:

a) Número de usuarios.
b) Costo de la mano de obra.
c) Costo de materias primas (locales e importadas).
d) Costo de equipos (locales e importados).
e) Requerimiento de mantenimiento.
f) Costo de energía eléctrica.
g) Normas de calidad a cumplir (NB 512 Agua potable – Requisitos).

(3) La estimación de costos debe tomar en cuenta el costo total del ciclo de vida del tren de procesamiento. Los costos de capital y los de operación y mantenimiento deben ser incluidos en la estimación de costos de operación y mantenimiento finales. La necesidad de reparaciones, de mantener un inventario de recambios o extras de equipo, para el equipo de operación y para las actividades de mantenimiento rutinario, debe incluirse en los costos. Las instalaciones más pequeñas deben considerar no solo la cantidad de trabajo asociado con los procesos de tratamiento, sino también las habilidades o experiencia requerida por esos trabajos.

2.3 DEMANDA DE AGUA

(1) Se debe establecer la demanda de agua para uso doméstico, industrial, comercial, público con fines recreativos, riego de jardines, parques y piletas públicas así como la requerida para combatir incendios, de manera que no afecte la continuidad y calidad del servicio de suministro de agua. La demanda contra incendio está dentro de la demanda promedio de cada zona.

(2) Para determinar la demanda de agua se debe considerar aspectos tales como las características de migración y emigración de la población si es que las hubiera. Asimismo un análisis detallado de las fluctuaciones poblacionales (poblaciones flotantes), durante ciertos periodos del año.

2.4 PERIODO DE DISEÑO

(1) El periodo de diseño está comprendido entre 20 y 30 años para instalaciones con capacidades de tratamiento mayores a 1,0 m^3/s y podrá ser de 5 a 10 años para aquellas instalaciones en las cuales se requieren bajas inversiones y corresponden al concepto de tecnología apropiada y pueden ser ampliadas una vez el periodo haya transcurrido; rara vez se adoptará 15 a 20 años.

(2) El periodo de diseño para la construcción de las plantas debe ser corto para reducir la carga financiera sobre la población presente. En todo caso el proyectista debe justificar el periodo de diseño según las características poblacionales y el contexto socio - económico asociado al proyecto.

2.5 UBICACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO

(1) La ubicación debe tomar en cuenta factores técnicos y socio – económicos y ambientales.

a) Los factores técnicos comprenden la topografía del terreno, su resistencia y capacidad, profundidad del nivel freático y la facilidad de llegada del agua no tratada por gravedad, accesibilidad a la planta y distancia a los puntos y vías de suministro, proximidad a los servicios públicos de energía eléctrica y alcantarillado, fuentes de suministro de insumos requeridos para la construcción, operación y mantenimiento de la planta.

b) Los factores socio económicos deben estar circunscritos a la selección de las alternativas de tratamiento, en las cuales debe efectuarse el correspondiente análisis de costo-beneficio tomando en cuenta los costos de inversión, operación y mantenimiento, cumpliendo la calidad exigida en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos), versus la capacidad de pago por parte de los usuarios.

c) Los factores ambientales deben tomar en consideración la disponibilidad del recurso hídrico para destinarlo a consumo humano, en cantidad tal que no afecte el equilibrio ecológico. Las plantas potabilizadoras deberán ubicarse de manera tal que no produzcan alteraciones ambientales a tiempo de construirlas operarlas y mantenerlas.

d) Los residuos generados por las plantas (sólidos/líquidos y gaseosos) no deben afectar el medio ambiente, por lo que el proyectista a tiempo de diseñar el sistema de tratamiento y disposición final, seleccionará la tecnología adecuada, señalando en el proyecto los impactos ocasionados.

(2) Cuando la planta de potabilización esté próxima a un curso de agua se la debe ubicar en un tramo recto de ese curso o en la parte convexa de los tramos curvos, no admitiéndose la ubicación en la parte cóncava de los tramos curvos, a menos que el margen adyacente sea comprobadamente estable.

(3) La Planta se debe ubicar en una zona que no sea inundable, sin embargo se estudiará la estabilidad de la infraestructura tomando en cuenta la ocurrencia de inundación extraordinaria, tomando previsión de realizar obras especiales para evitar la erosión de las fundaciones.

(4) En zonas tradicionalmente inundables, se establecerá la cota máxima de llegada de las aguas, debiendo localizarse la planta al menos 1,0 m por encima de esta cota.

2.6 CAPACIDAD NOMINAL DE LAS PLANTAS

(1) La capacidad nominal de una planta de tratamiento debe diseñarse para el consumo máximo diario, considerando un índice de crecimiento poblacional y el período de diseño.

(2) Debe tomarse en cuenta para el diseño de instalaciones de plantas de tratamiento un porcentaje correspondiente a las fugas que se producen o producirán en el sistema. Este porcentaje depende de las características y los materiales de las redes de distribución, así como la edad del sistema y calidad de la mano de obra en la construcción. En otros casos influirán aspectos geotécnicos y calidad de los suelos sobre los que se asientan los sistemas de distribución. El proyectista determinará el valor del porcentaje según los estudios de evaluación realizados.

2.7 ETAPAS O FASES DEL PROYECTO

(1) Las etapas o fases del proyecto responden a la disponibilidad de recursos económicos para la construcción, operación y mantenimiento de una planta de tratamiento y la factibilidad de realizar la inversión en corto plazo dentro del periodo de diseño.

2.8 LINEAS DE TRATAMIENTO

(1) Las líneas de tratamiento darán flexibilidad en la operación de la planta de tratamiento. Podrá asumirse 2 líneas como mínimo o el número adecuado de unidades de tratamiento que garanticen continuidad en el aprovisionamiento de agua cuando se realice el mantenimiento de la planta potabilizadora.

2.9 MEDICION DE CAUDALES

(1) Para la medida de caudales líquidos en instalaciones con caudales menores a 1,0 m^3/s debe proveerse de dispositivos preferentemente hidráulicos, se utilizarán medidores Parshall, Venturi o vertederos calibrados.

(2) En sistemas más avanzados y de mayor capacidad pueden utilizarse sistemas como los contadores de turbina o de émbolo, caudalímetros de flotador, dispositivos creadores de presión diferencial unidos a transmisores eléctricos o neumáticos. Equipos más precisos son los contadores electromagnéticos, los sistemas de membrana, los sistemas basados en la medida de una capacidad eléctrica, y los dispositivos de medida de nivel por ultrasonidos.

2.10 REGULADORES DE REGIMEN HIDRAULICO

(1) Tienen la función de estabilizar y reducir el régimen hidráulico a la entrada de las plantas, para llevar a cabo el tratamiento de las aguas. Consisten de dispositivos que permiten altas pérdidas de carga; válvulas, cámaras rompe-presión o dispositivos hidráulicos de alta pérdida de carga.

(2) La repartición equitativa de los caudales entre las unidades similares que funcionan en paralelo debe controlarse a partir de dispositivos regulables de forma automática o manual.

(3) Los reguladores de caudales deben prever el ingreso de los caudales punta a las instalaciones y desbordar los excedentes hacia el sistema de drenaje de la planta.

CAPÍTULO 3
CONCEPTOS GENERALES

3.1 TRATAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

(1) Las aguas subterráneas por lo general son de buena calidad físico-química y bacteriológica. Por su origen, es probable que contengan hierro y manganeso fuera de los límites establecidos en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos), que sean moderadamente duras y presenten características corrosivas con ausencia o concentración baja de oxígeno disuelto, siendo necesario su tratamiento.

(2) Se debe considerar la guía cualitativa sobre los procesos aplicables a las aguas subterráneas de características aeróbicas o anaeróbicas moderadamente duras, o sin dureza, corrosivas o no corrosivas y con o sin contenidos de hierro y manganeso, presentada en la **Tabla 1** del **Anexo D**.

(3) Si las aguas no contienen constituyentes minerales que requieran tratamiento, se debe acondicionarlas para el consumo con una desinfección como único tratamiento.

3.1.1 Sólo Desinfección, o sin Tratamiento

(1) Se debe aplicar sólo el proceso de desinfección en aquellas aguas que cumplen la norma de calidad microbiológica y tienen contenido mineral con concentraciones por debajo de los valores máximos aceptables especificados en la Norma Boliviana NB 512 Agua Potable – Requisitos; la desinfección es el único registro de tratamiento. Esta situación se dará siempre que el acuífero no tenga conexión directa con el agua de la superficie y que el pozo haya sido construido adecuadamente de forma que el acuífero no debe ser contaminado en el pozo. Para aguas de alta calidad el desinfectante que se debe aplicar es el cloro libre (Véase **Figura 1**).

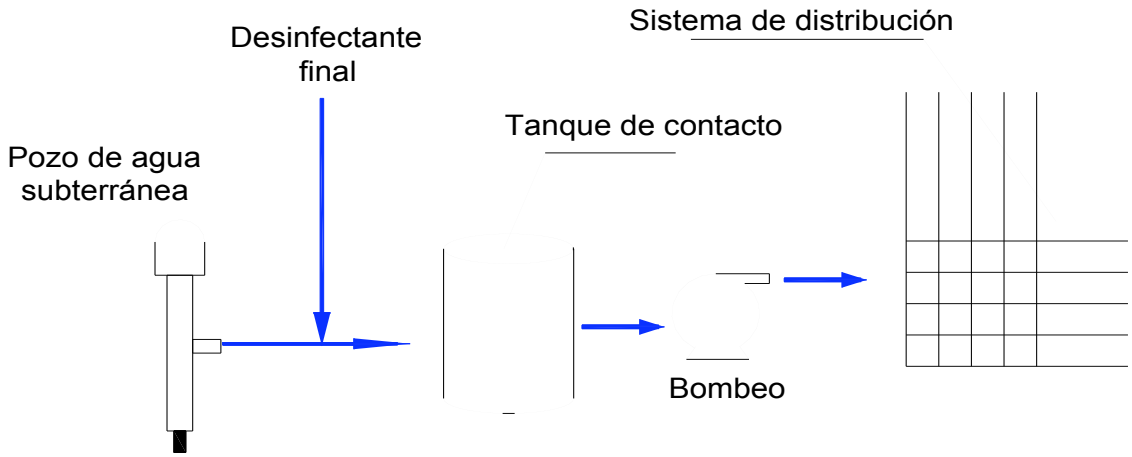


Figura 1. Tratamiento del agua subterránea - desinfección

3.1.2 Remoción de Hierro, Manganeso, o ambos, más desinfección

(1) Si la composición mineralógica del acuífero incluye hierro, manganeso o ambos, estos constituyentes inorgánicos se encontrarán en el agua subterránea.

(2) Para la remoción de hierro y manganeso se debe emplear la oxidación, precipitación y filtración.

(3) El proceso mostrado en la **Figura 2**, es el adecuado para la remoción de hierro y manganeso. La presencia de materia orgánica en la fuente de agua puede impedir la remoción de hierro y manganeso por oxidación y filtración. El hierro puede oxidarse en muchos casos por aireación.

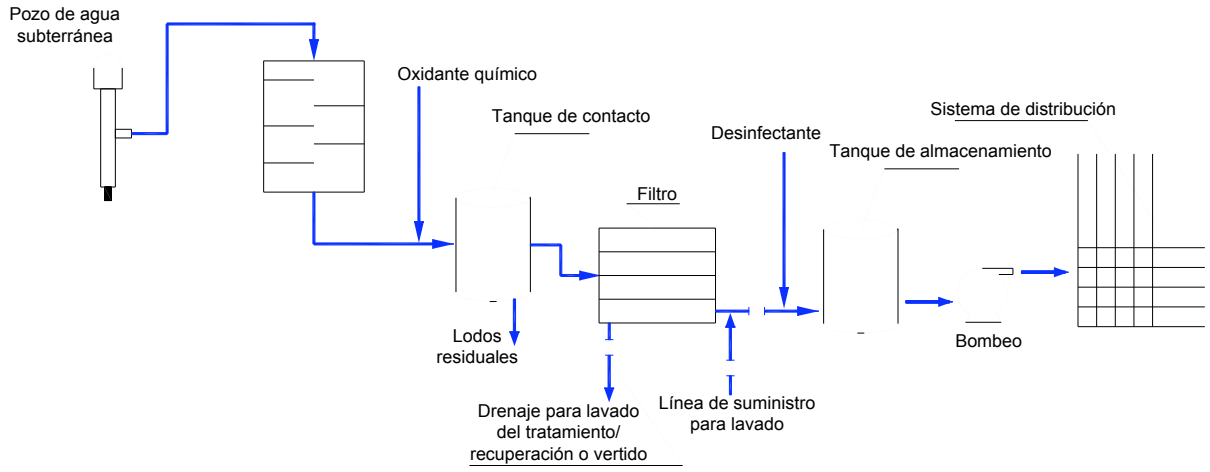


Figura 2. Tratamiento del agua subterránea con hierro y manganeso

(4) Se debe llevar a cabo el tratamiento a un pH de 8 o superior para promover una oxidación más rápida de hierro por aireación, si la materia orgánica natural no está presente en concentraciones significativas.

(5) Para oxidar el hierro y manganeso se puede usar permanganato de potasio, cloro u ozono. El permanganato de potasio se debe utilizar normalmente para el manganeso que es más difícil oxidar que el hierro.

3.1.3 Ablandamiento por precipitación con cal

(1) El agua dura contiene exceso de calcio y magnesio, siendo necesario el ablandamiento por precipitación con cal.

(2) Para el tratamiento se debe añadir cal apagada o hidratada al agua para elevar el pH suficientemente como para precipitar el calcio, y más reactivo para precipitar el magnesio.
(3) Si existe dureza que no es de carbonato, se debe adicionar sosa para precipitar el calcio y magnesio.

(4) En el ablandamiento con cal, los precipitados de carbonato cálcico y el hidróxido magnésico se deben retirar en un tanque de sedimentación antes de filtrar el agua.

(5) En las plantas de ablandamiento que usen separadamente los procesos de mezcla rápida, floculación y sedimentación, recirculando algo de lodos de cal al paso de mezcla rápida, aumenta la precipitación del carbonato de calcio (CO_3Ca) y aglomera las partículas del precipitado. Se debe prever en tal caso una mayor capacidad en los sistemas de recolección tratamiento y disposición de lodos.

(6) El proceso de ablandamiento de aguas subterráneas puede ser llevado a cabo efectivamente en dos etapas (véase la **Figura 3**).

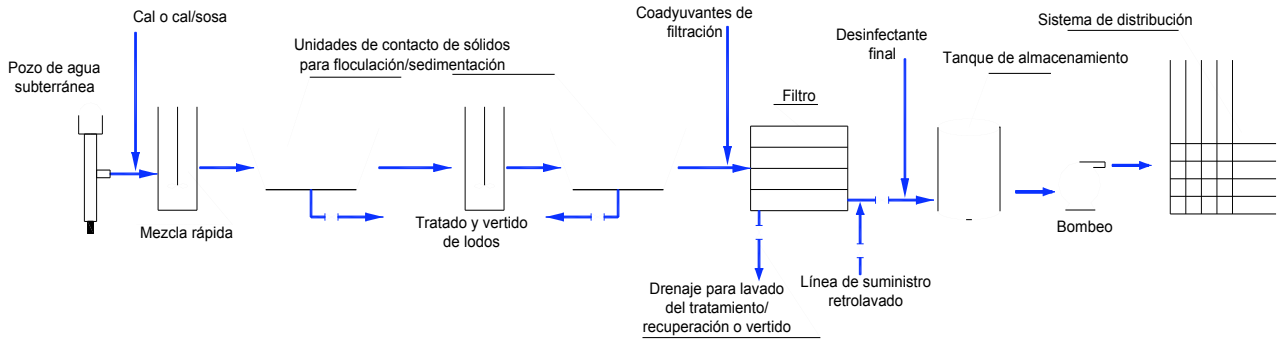


Figura 3. Ablandamiento de aguas subterráneas en dos etapas

(7) Cuando se remociona magnesio el agua tendrá un pH de 10,6 a 11, este debe ser reducido mediante recarbonatación (adición de dióxido de carbono).

(8) Se debe aplicar el proceso de aireación antes del ablandamiento de cal para retirar el dióxido de carbono de las aguas subterráneas ya que la cal reacciona con el CO_2. La decisión de utilizar aireación o más cal para el tratamiento del dióxido de carbono estará basada en los costos de aireación versus los costos de cal extra y del tratamiento, y la disposición del lodo producido.

3.2 TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES

(1) El tratamiento se lleva a cabo en unidades convenientemente dispuestas y cuya tecnología presenta diferentes características según la magnitud del proyecto y el contexto en el que se desarrolla (urbano, periurbano y rural).

(2) En las unidades de tratamiento, se deben llevar a cabo los procesos de transferencia de masa destinados a adicionar elementos y compuestos necesarios para la obtención de la calidad deseada y la remoción de elementos y compuestos indeseables para el consumo humano, a valores indicados en la Norma Boliviana NB 512.

(3) El tratamiento de las aguas superficiales se debe realizar mediante una variedad de procesos que dependen de la calidad del agua de origen.

(4) Todas las aguas superficiales deben ser sometidas a un proceso de desinfección independiente del tren de tratamiento seleccionado.

3.2.1 Desinfección solamente sin filtración

(1) El número de sistemas que requieran sólo desinfección es escaso o tiende a disminuir a medida que se produce el crecimiento de la población y la dificultad asociada con la propiedad o control de los cursos de agua. El proyectista debe evaluar y justificar si aplica sólo la desinfección sin el proceso de filtración a partir de las calidad físico – química y bacteriológica del agua.

(2) Los quistes de Giardia no son susceptibles al cloro libre en concentraciones residuales, de modo que cuando las aguas no están filtradas la probabilidad de tener quistes en los efluentes es alta, con las consecuencias que ello origina en términos de salud pública. El proyectista debe evaluar y justificar si aplica sólo la desinfección sin el proceso de filtración, en ausencia de quistes de Giardia.

3.2.2 Tratamiento convencional.

(1) Un tren de tratamiento que consistente de alimentación química, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección se debe considerar como convencional.

(2) La desinfección se debe incluir en el tratamiento convencional, con el punto o puntos de adición del desinfectante.

(3) El proceso de aireación se constituye en una alternativa de tratamiento siempre y cuando sea necesaria y justificada su inclusión.

(4) Una planta de tratamiento convencional debe ser capaz de tratar aguas que tengan una turbiedad de 10 a más de 1 000 U.N.T, durante las riadas, con dosis que pueden variar de 10 mg/l a más de 100 mg/l. La **Figura 4** muestra el tren de tratamiento convencional para aguas de superficie.

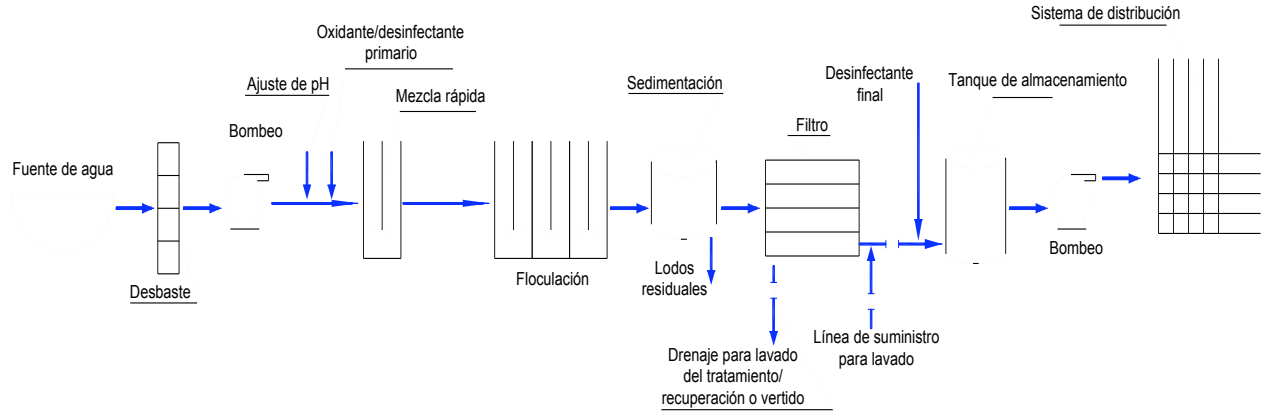


Figura 4. Tratamiento convencional para aguas superficiales

3.2.3 Tratamiento convencional con pretratamiento

(1) Para aguas que arrastran cargas de sedimentos, se debe emplear un proceso de presedimentación antes del tratamiento convencional.

(2) La predesinfección con cloro puede utilizarse en plantas con el propósito de disminuir las concentraciones de bacterias en el agua origen.

3.2.4 Procesos para fuentes de elevada calidad

(1) En fuentes con baja turbiedad, bajas concentraciones de materia orgánica e inorgánica y bajo color, algunos procesos de una planta convencional pueden ser omitidos. El tratamiento aconsejable para éstos casos es el de una Filtración Lenta en Arena FLA o una Filtración Directa FD que evita la etapa de sedimentación.

(2) En algunos casos también puede omitirse el proceso de floculación siempre que el contenido de turbiedad sea bajo. La **Figura 5** muestra el tratamiento a través de filtración directa.

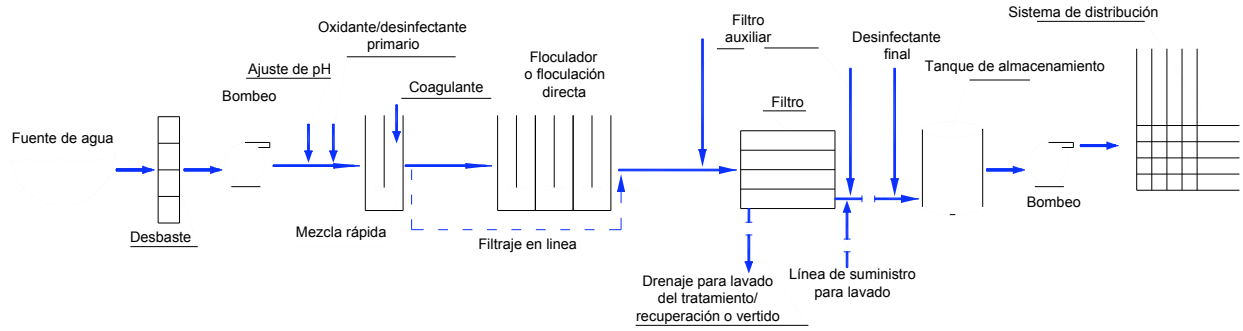


Figura 5. Filtración Directa en el tratamiento de aguas superficiales

3.2.5 Tratamientos con tecnología apropiada con la adición de sustancias químicas

(1) La filtración rápida ha predominado en el tratamiento de las aguas, con el consiguiente uso de compuestos químicos como coagulantes, para facilitar la coagulación y purificación del agua.

(2) Cuando la calidad del agua cruda y la capacidad de operación y mantenimiento en el ámbito local lo permiten, el proceso de sedimentación puede eliminarse dando origen a la filtración directa, la cual presenta variantes dependiendo del sentido del flujo en los filtros o de las modalidades que se adopten en los procesos previos de desestabilización o acondicionamiento de material coloidal. De cualquier manera estas opciones requieren la dosificación de coagulantes químicos.

3.2.6 Tratamiento de agua por múltiple etapa

(1) La múltiple etapa permite el mejoramiento de la calidad del agua, removiendo progresivamente los contaminantes del agua.

(2) Al aplicar el concepto de tratamiento en múltiples etapas, en cada una de ellas difieren los mecanismos de remoción de los diferentes contaminantes. Según el concepto de tratamiento integrado, las ventajas y desventajas que ofrecen deben ser tomadas en cuenta a tiempo de estimarlas y balancearlas, para remover los contaminantes efectiva y económicamente.

(3) En el tratamiento se debe separar el material más pesado o de mayor tamaño y gradualmente avanzar en la remoción del material más pequeño, que incluye a los microorganismos, para finalizar en la desinfección.

(4) La desinfección es normalmente la última etapa o barrera en el tratamiento de agua. Para que sea efectiva se deben remover los contaminantes y microorganismos patógenos de manera tal que no se supere la capacidad del desinfectante.

(5) Cada etapa de tratamiento debe presentar una eficiencia en términos de turbiedad y concentración de coliformes termorresistentes. La **Tabla 2** del **Anexo D** muestra los valores para el proceso de sedimentación, prefiltración, filtración lenta en arena y desinfección, sin la dosificación de coagulante.

(6) La desinfección de aguas superficiales, como única etapa de tratamiento se debe llevar a cabo si se cumple las siguientes condiciones:

a) El nivel de contaminación fecal debe ser menor a 20 U.F.C./100 ml en el 90 % de las muestras.
b) La turbiedad debe ser menor a 5 U.N.T. Se aceptan valores superiores con una frecuencia estadística de 2 veces al año.
c) La desinfección debe inactivar el 99.9 % y 99.99 % de quistes de Giardia y virus respectivamente, para ello se aplica el desinfectante en concentraciones y tiempos de contacto tales que dejen un residual mínimo en red de 0.2 mg/l de cloro libre residual en la red en el punto más alejado.
d) Establecer un programa de control de la cuenca.
e) Realizar anualmente inspecciones sanitarias.
f) Haber eliminado los brotes de enfermedades de origen hídrico.
g) Cumplir con la normativa establecida con los indicadores de contaminación fecal.
h) Cumplir con la normativa para el nivel máximo de contaminación por trihalometanos.

3.2.6.1 Filtración en Múltiples Etapas FiME

(1) La Filtración en múltiples etapas debe satisfacer el concepto de multibarrera o de múltiples etapas y deben llevar a cabo el tratamiento de las aguas sin la adición de productos químicos para la coagulación. Principalmente debe estar conformada por unidades de filtración. Comprende los procesos de desarenación, presedimentación, sedimentación, filtración gruesa dinámica, filtración gruesa de flujo horizontal, filtración gruesa de flujo vertical, filtración lenta y desinfección, como opciones las cuales, el proyectista debe elegir de acuerdo a las características de la calidad del agua, ámbitos del proyecto y al concepto de sostenibilidad en el tiempo.

(2) Se constituyen en sistemas de tratamiento de tecnología apropiada sin la adición de productos químicos, todos aquellos que cumplen una función determinada en la remoción de algún parámetro físico-químico y/o bacteriológico. Entre las alternativas tecnológicas se cuenta con: sistema de filtración en medios granulares, porosos y sintéticos de uso doméstico.

(3) La combinación de las etapas de filtración gruesa y filtración lenta en arena se denomina filtración en múltiples etapas FiME.

3.2.6.2 Aplicación de FiME

(1) La tecnología FiME presenta limitaciones cuando se dispone de aguas con niveles altos de contaminación, por material suspendido y como consecuencia que el efluente no presente la calidad deseable para ser desinfectada. El proyectista debe justificar la factibilidad de su implementación a través de los análisis físico – químicos y bacteriológicos realizados para la caracterización de las aguas.

(2) La tecnología con fuentes superficiales de baja o moderada contaminación resulta confiable para el mejoramiento de la calidad del agua a través de la tecnología FiME. El proyectista debe incluir en el proyecto los análisis físico – químicos y bacteriológicos realizados para la caracterización de las aguas.

(3) Se deben realizar estudios de sedimentabilidad, filtrabilidad y desinfección a nivel de planta piloto, escala de laboratorio o ensayos *in situ* debidamente justificados, previa a la toma de decisión sobre el uso de FiME o cambiar la fuente de suministro si la calidad se valora como desfavorable a la tecnología.

3.2.6.3 Recomendaciones sobre la selección de la tecnología FiME

(1) Al no existir suficiente experiencia con la tecnología en las regiones específicas (altiplano, valles y llanos), se deben adoptar criterios de diseño conservativos (iguales o inferiores a los recomendados).

(2) Se deben realizar estudios a nivel de planta piloto en las regiones específicas para poder extrapolar experiencia a zonas similares.

CAPÍTULO 4
PLANTAS POTABILIZADORAS CONVENCIONALES
UNIDADES DE PRETRATAMIENTO

4.1 DEFINICIÓN

(1) Las plantas potabilizadoras convencionales corresponden a un tren de tratamiento que incluye la adición de compuestos químicos que favorecen el tratamiento. Consta de unidades de pretratamiento, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

(2) Las aguas crudas se deben someter en una primera instancia a la etapa de pretratamiento, que tiene por objeto separar del agua el material que por su naturaleza y tamaño no permite su depuración.

4.2 CRIBADO O CERNIDO (DESBASTE)

(1) La operación de cribado o cernido tiene por objeto:

a) Proteger a la planta de la llegada intempestiva de grandes objetos flotantes, capaces de provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación.
b) Separar y evacuar fácilmente materiales voluminosos arrastrados por el agua cruda.

(2) Las rejas utilizadas pueden ser de limpieza manual o mecánica. El proyectista debe definir la selección evaluando capacidades de operación y mantenimiento.

a) Rejas de limpieza manual

i) Deben ser construidas con barrotes rectos de acero, a veces verticales o inclinados con ángulos de 60 y 80 º sobre la horizontal, especialmente construidas en plantas alimentadas por aguas superficiales.

b) Rejas de limpieza mecánica

i) Deben ser construidas según requerimientos de caudal, profundidades de canal, ancho del canal, debiendo referirse específicamente al fabricante en caso de utilizarlas.

4.2.1 Parámetros de diseño

a) Velocidad de paso

(1) Debe ser suficiente para que los materiales en suspensión se adhieran a la reja sin que se provoque una alta pérdida de carga, ni se produzca atascamiento en la parte inferior de los barrotes.

(2) Se establece una velocidad aceptable entre los caudales mínimo y máximo. La velocidad media de paso entre barrotes será de 0,60 m/s a 1,0 m/s para caudal mínimo y de 1,20 m/s a 1,40 m/s para caudal máximo.

b) Pérdida de carga

(1) La pérdida de carga debe ser de 0,05 m para caudal mínimo y de 0,15 m para caudal máximo.

4.2.2 Dimensionamiento

(1) Las operaciones serán eficaces, según la separación entre los barrotes de la reja:

a) Cribado fino, con separación de 3 mm a 10 mm
b) Cribado medio, con separación de 10 mm a 25 mm
c) Cribado grueso, con una separación de 30 mm a 100 mm

4.3 DESARENADORES

(1) Tienen por objeto extraer del agua cruda, la gravilla, arena y partículas minerales más o menos finas. Deben evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión**.**

(2) El desarenado se refiere a partículas mayores a 200 micrómetros (0,2 mm) y peso específico de 2 650 kg/m^3.

4.3.1 Parámetros de diseño

(1) Las partículas a remover en un desarenador se consideran discretas (no cambian tamaño ni densidad en el tiempo). El dimensionamiento de las unidades debe estar en función de la velocidad de sedimentación V_s y la velocidad de escurrimiento horizontal $V_{h.}$

a) Carga superficial

(1) La velocidad de sedimentación V_s se expresa generalmente como carga superficial (q).

b) Velocidad de sedimentación

(1) Para régimen en transición (1< Re < 50) tiene la siguiente expresión:

$$V_s = \frac{g^{0,8} * \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}\right)^{0,8} * d^{1,4}}{10 * \nu^{0,6}}$$

$$\nu = \frac{497 * 10^{-6}}{(T + 42,5)^{1,5}}$$

Donde:
- V_s Velocidad de sedimentación de la partícula en m/s
- g Gravedad en m/s^2
- ρ_s Densidad de partículas en kg/m^3
- ρ_w Densidad del agua en kg/m^3
- d Tamaño o diámetro de partícula en m
- ν Viscosidad cinemática en m^2/s
- T Temperatura en ºC

(2) En la práctica se pueden tomar como base los valores de carga superficial de la **Tabla 1** y **Tabla 2,** válidos en sedimentación libre, para partículas de peso específico 2 650 kg/m^3.

Tabla 1. Cargas superficiales en desarenadores

CARGAS SUPERFICIALES PARA DESARENADORES											
d (mm)	**0,05**	**0,1**	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**1**	**2**	**3**	**5**	**10**
Vc (mm/s)	2	7	23	40	56	72	150	270	350	470	740
Vc' (mm/s)	0	5	17	30	40	50	110	210	260	330	
Vc'' (mm/s)	0	0	16	30	45	60	130	250	330	450	650
Vl (mm/s)	150	200	270	320	380	420	600	830	1000	1300	1900

Vc = Velocidad de sedimentación para un fluido de velocidad horizontal nula
Vc' = Velocidad de sedimentación para un fluido de velocidad horizontal igual a Vl
Vc'' = Velocidad de sedimentación para un fluido de velocidad horizontal igual a 0.30 m/s.
Vl = Velocidad de sedimentación crítica de arrastre de la partícula depositada.
(Fuente: Degremont; 1974)

Tabla 2. Cargas superficiales según Hazen

Diámetro partícula (mm)	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,10
Velocidad de sedimentación (mm/s)	100	83	63	53	42	32	21	15	8

c) Velocidad de sedimentación crítica

(1) La velocidad de sedimentación crítica V_s corresponde a una velocidad minorada por factores tales como: gradientes de temperatura (ambiente y agua), cortocircuitos, zonas muertas, deficiencias en los dispositivos de entrada y salida. Se considera un factor minorante "f" que varía de 10 al 30 % (f =1,1 a 1,3)

$$V_{sc} = \frac{V_s}{f}$$

$$V_{sc} = \frac{Q}{B * L} = \frac{Q}{A_s} = q$$

Donde:
- V_s Velocidad de sedimentación crítica en m/s
- q Carga superficial en m^3/m^2s
- V_{sc} Velocidad de sedimentación crítica en m/s
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- B Ancho del desarenador en m
  0,60 m (mínimo)
- L Longitud del desarenador en m
- A_s Área superficial en m^2

d) Velocidad de escurrimiento horizontal

(1) La velocidad horizontal V_h debe estar en el rango de 0,30 m/s a 0,40 m/s con periodos de retención de 30 s a 120 s que permiten la sedimentación de las partículas de arena.

$$V_h = \frac{Q}{B * H}$$

Donde:
V_h Velocidad de escurrimiento horizontal en m/s
Q Caudal de diseño en m^3/s
B Ancho del desarenador en m
0,60 m (mínimo)
H Profundidad del desarenador en m
0,50 m (mínimo)

e) Velocidad de resuspensión

(1) Para evitar la resuspensión de las partículas, la velocidad de arrastre V_a debe ser:

$$V_a = \sqrt{40 * (\rho_s - \rho_w) * g * d/(3 * \rho_w)}$$

Donde:
V_a Velocidad de arrastre de las partículas en m/s
g Gravedad en m/s^2
ρ_s Densidad de partículas en kg/m^3
ρ_w Densidad del agua en kg/m^3
d Tamaño o diámetro de partícula en m
g Gravedad en m/s^2
ρ_s Densidad de partículas en kg/m^3

Condición: $V_a > V_h$

4.3.2 Dimensionamiento

a) Superficie del desarenador

$$q = \frac{Q}{A_s} \quad ; \quad A_s = B * L$$

Donde:
q Carga superficial adoptada en m^3/m^2s
Q Caudal de diseño en m^3/s
A_s Área superficial en m^2
B Ancho del desarenador en m
L Largo del desarenador en m

Relación largo – ancho: $\frac{L}{B}$ = 7 a 12

Véase la **Figura 1** del **Anexo E.**

b) Profundidad del desarenador

$$H = \frac{Q}{B * V_h}$$

Donde:
H Profundidad del desarenador en m
Q Caudal de diseño en m^3/s
B Ancho del desarenador en m
V_h Velocidad de escurrimiento horizontal en m/s

Se debe cumplir que:

$$L / H = V_h / V_{sc}$$

c) Producción de arenas

(1) Al valor H se le añadirá una altura equivalente al volumen de arena que llega a la instalación de acuerdo a las características de la fuente superficial en la época lluviosa. Este volumen se determinará en un ensayo de decantación que dure 1 hora en un cono Inhoff de 1 litro o un recipiente graduado de 1 o 2 litros; así se determinará el volumen de arena por litro de agua, que relacionado con el caudal y el tiempo de retención proporcionará el volumen de arena acumulado. La relación del volumen y el área superficial proporcionará la altura de arena para un determinado tiempo de purga que debe ser fijado por el proyectista.

(2) Es recomendable diseñar dos unidades teniendo en cuenta las condiciones de operación y mantenimiento.

d) Estructuras de entrada

(1) Se debe prever de un sistema de medición de caudal y estructuras que permitan evacuar las excedencias.

(2) Se recomiendan del tipo vertedero sumergido, con orificios circulares que garanticen distribución uniforme del flujo, con velocidad menor a 0.30 m/s. Véase la **Figura 2** del **Anexo E.**

(3) Para el control en la operación y mantenimiento se debe disponer de una válvula de control a la entrada y otra a la salida.

e) Estructuras de salida

(1) Podrá consistir de un vertedero simple sumergido de ancho B cuya carga no altere el flujo en la zona de sedimentación. Esta condición se cumple si $L / H < 5$ y la velocidad de salida sea menor a 0,60 m/s. Véase la **Figura 3** del **Anexo E.**

4.4 PRESEDIMENTADORES

(1) Son unidades de pretratamiento que tienen por objeto separar las partículas sólidas de un líquido; estas partículas no deben ser de origen coloidal. Los diámetros están comprendidos entre 0,01 mm y 0,20 mm. Son de sección rectangular, presentando una zona de entrada, zona de sedimentación propiamente dicha, zona de lodos y la zona de salida.

4.4.1 Parámetros de diseño.

(1) Se toma en consideración en las partículas discretas la velocidad de sedimentación V_s velocidad de escurrimiento horizontal V_h. Detalles de la zona de entrada, zona de sedimentación, zona de salida y zona de lodos se muestran en la **Figura 4** del **Anexo E.**

(2) El diseño de los tanques de presedimentación está gobernado por 3 criterios: la cantidad de agua a ser tratada, la adecuada selección del tiempo de retención y la selección de la carga superficial.

a) Velocidad de sedimentación crítica

$$V_{sc} = \frac{V_s}{f} \; ; \quad f = 1,1 \text{ a } 1,3$$

$$V_{sc} = \frac{Q}{B * L} = \frac{Q}{A_s} = q$$

Donde:
- q Carga superficial en m^3/m^2s
- V_{sc} Velocidad de sedimentación crítica en m/s
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- B Ancho del presedimentador en m
- L Longitud del presedimentador en m
- A_s Área superficial en m^2
- f Factor de seguridad que contempla aspectos climáticos (gradientes de temperatura), oleaje, este factor según observaciones de campo.

(1) En un presedimentador serán retenidas las partículas cuya velocidad de sedimentación sea superior a la velocidad ascendente del líquido.

(2) Considerando una profundidad H del presedimentador, una partícula sedimentará con una velocidad de caída constante V_s y alcanzará el fondo al cabo de un tiempo t.

$$V_s = \frac{H}{t}$$

Donde:
- V_s Velocidad de sedimentación en m/s
- H Profundidad del presedimentador en m
- t Tiempo de retención en s

b) Velocidad de escurrimiento horizontal

(1) Debe ser menor a la velocidad de arrastre de las partículas.

$$V_h = \frac{Q}{B * H}$$

$$V_a = \sqrt{40 * (\rho_s - \rho_w) * g * d/(3 * \rho_w)}$$

Donde:
- V_h Velocidad de escurrimiento horizontal en m/s
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- B Ancho del presedimentador en m
- H Profundidad del presedimentador en m
- V_a Velocidad de arrastre de las partículas en m/s
- g Gravedad en m/s^2
- ρ_s Densidad de partículas en kg/m^3
- ρ_w Densidad del agua en kg/m^3
- d Tamaño o diámetro de partícula en m

Condición: $V_a > V_h$

c) Criterios complementarios

(1) La **Tabla 3** a continuación, señala valores que podrán adoptarse según criterios del proyectista y comprobarse con las pruebas que se realicen en campo o laboratorio; pruebas en columna de sedimentación o pruebas de jarras.

(2) En aguas naturales se presentan una gran variedad de partículas y se puede caracterizar una curva de distribución de velocidades, cuando se toma una muestra a una profundidad h y al tiempo t (Véase la **Figura 5** del **Anexo E**). Para cada velocidad de sedimentación existirá un % de remoción r, determinada a partir de la siguiente relación:

$$r_{(So)} = (1 - P_o) + \frac{1}{S_o}\int_0^{po} sdp$$

Para: $S = V_s$

Donde: $r_{(so)}$ Relación de remoción para la velocidad S_o
P_o Fracción de partículas permanentes para una velocidad de sedimentación S_o

$$\int_0^{po} sdp \cong \frac{1}{2}\sum_{2}^{n=Po}(S_{i-1} + S_i) * (P_1 - P_{i-1})$$

Tabla 3. Parámetros de diseño

Parámetro de diseño	Unidades	Valores
Tiempo de retención	Horas	1,5 - 3,0
Carga superficial	m^3/m^2d (mm/s)	24,2 – 60,5 (0,28 – 0,70)
Velocidad horizontal	mm/s	<10
Carga lineal de vertederos	Litros/ m s	<10

Fuente: Sedimentación; Huisman 1992

4.4.2 Dimensionamiento

a) Superficie del presedimentador

$$q = \frac{Q}{A_s} \; ; \quad A_s = B * L$$

Donde: q Carga superficial adoptada en m^3/m^2s
Q Caudal de diseño en m^3/s
B Ancho del presedimentador en m
L Largo del presedimentador en m
A_s Área superficial en m^2

Relación largo – ancho: $\frac{L}{B}$ = 4 a 8

b) Profundidad del presedimentador

$$H = \frac{Q}{B * V_h}; \quad t = \frac{V}{Q} \quad ; \; H = \frac{Q * t}{A_s}$$

Donde:
- H Profundidad del presedimentador en m
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- B Ancho del presedimentador en m
- V_h Velocidad de escurrimiento horizontal en m/s
- t Tiempo de retención en segundos en s
- V Volumen del presedimentador en m^3
- A_s Área superficial en m^2

c) Producción de lodos.

(1) Para evaluar la producción de lodos es necesario contar con valores obtenidos en campo o laboratorio que señalen la concentración volumétrica C de las partículas por litro de agua. Esta concentración C estará dada en (ml/l). El volumen de lodos será V_l y estará dado por:

$$V_l = E * C * Q$$

Donde:
- V_l Volumen de lodos producido en l / s
- E Eficiencia remocional de lodos en %
- C Concentración volumétrica de partículas en ml / l, medidos en un cono Inhoff después de una hora de sedimentación
- Q Caudal de diseño en m^3/s

(2) El valor de la eficiencia E, la asume el proyectista en función a la calidad de la obra a tiempo de supervisarla, especialmente en las estructuras de entrada y salida. Como valor razonable, para buenas condiciones de supervisión y construcción se podrá asumir E igual al 80 %.

(3) La producción de lodos puede calcularse con mayor precisión con las relaciones presentadas en el **Capítulo 14** del presente Reglamento.

d) Volumen de la cámara de lodos

(1) Se debe calcular en función al tiempo entre purga y purga, definido por el proyectista de acuerdo a la producción de los lodos.

$$V_{cl} = V_l * t$$

Donde:
- V_{cl} Volumen de la cámara de lodos en m^3
- V_l Volumen de lodos producido en ml / s
- t Tiempo de retención en segundos en s

e) Dimensión de la cámara de lodos

(1) La dimensión de la cámara de lodos está en función a la geometría que se le dé a la misma y al número de cámaras que el proyectista adopte. A mayor número de cámaras se tendrá mayores tiempos entre purga y purga. Se recomienda no exceder este tiempo en una semana. Tiempos mayores convierten los lodos en lodos anaeróbicos, deteriorando la calidad del agua que está en proceso de tratamiento.

(2) Las **Figuras 6-a, 6-b** del **Anexo E**, muestran las dimensiones de la cámara de lodos a partir de su geometría y sistema de drenaje y limpieza de lodos.

f) Estructuras de entrada

(1) Permiten distribuir el flujo de manera uniforme en el área transversal de la zona de sedimentación. Se constituyen en elementos que regulan el régimen hidráulico, proporcionando menores velocidades de escurrimiento a partir de la pérdida de energía debido a la pérdida de carga que se produce en sus dispositivos.

(2) Consiste en un canal cuya longitud es igual al ancho del presedimentador y que tiene provisto en su base orificios de sección circular que permiten al flujo ingresar de forma vertical y de manera sumergida, con velocidades de 0,2 m/s a 0,3 m/s. Véase la **Figura 7** del **Anexo E.**

(3) El canal de ingreso debe ser diseñado para una velocidad de 0,30 m/s con una sección mayor a por lo menos 1,5 a 2,0 veces el área total de los orificios.

(4) A objeto de distribuir mejor el ingreso de agua, se podrá colocar una pantalla deflectora provista de orificios de sección circular a una distancia “d” de la pared de la zona de entrada distribuida sobre el 90% de la altura total y a lo largo del ancho del tanque. La separación y diámetro de los orificios se asumirán de tal manera que la variación del caudal entre los orificios superiores e inferiores sea menor al 5 %.

g) Estructuras de salida

(1) Tienen por objeto recolectar el agua de manera uniforme. Un mal diseño y construcción de estas estructuras podrán provocar la resuspensión en la zona próxima a la zona de salida. Se puede utilizar canaletas de rebose a las cuales se les practicará vertederos triangulares o rectangulares en número tal que evacuen el caudal de diseño y presenten crestas de no más de 0,02 m para evitar la resuspensión de los sólidos en la zona de salida.

(2) Se debe asumir la longitud (l) y número de canaletas N_c provistas de vertederos en número también asumido N_w, considerando que en cada canaleta se recolecta el agua a través de los vertederos por ambos lados (a = 2).

h) Carga de vertederos

(1) La carga del vertedero $w_l < 5\ H`.\ V_s$

$$w_1 = \frac{Q}{N_c * a * l}$$

Donde:

w_l Carga del vertedero en $m^3/m\ s$
Q Caudal de diseño en m^3/s
N_c Número de canaletas
a Números de lados por canaleta
l Longitud de una canaleta en m

$$H` = (H - 0{,}01L)$$

H Corresponde a la altura en m en la zona de salida, calculada considerando la pendiente del presedimentador; si es del 1% será:

$$V_s = \frac{Q}{B * L}$$

V_s Velocidad de sedimentación en m/s
B Ancho de presedimentador en m
L Longitud del presedimentador en m
H Altura del sedimentador sin considerar la altura de la zona de lodos en m

$$5\ H`.V_s > w_l$$

(2) Caudal por cada vertedero:

$$Q_w = \frac{Q}{N_c * N_w}$$

Donde:
Q_w Caudal por cada vertedero en m^3/s
Q Caudal de diseño en m^3/s
N_c Número de canaletas
N_w Número de vertederos

(3) La altura de agua sobre la cresta será:

$$H_w = \left(\frac{Q_w}{1{,}83 * b}\right)^{2/3} \quad \text{(Vertedero rectangular)}$$

$$H_w = \left(\frac{Q_w}{1{,}4}\right)^{2/5} \quad \text{(Vertedero triangular de ángulo recto)}$$

Donde:
H_w Altura de agua sobre la cresta en m
Q_w Caudal por cada vertedero en m^3/s
b Ancho del vertedero en m

(4) La **Figura 8** del **Anexo E**, muestra las estructuras de salida que consisten en canaletas de recolección, que actúan como verteros simples, dispuestos en todo el ancho de la unidad o en longitudes calculadas de manera tal que puedan evacuar el caudal de diseño.

(5) La **Figura 9** del **Anexo E**, muestra las estructuras de salida que consisten en canaletas de recolección, a las cuales se les practican vertederos rectangulares o triangulares, dispuestos en toda la longitud de la canaleta y calculados de manera tal que puedan evacuar el caudal de diseño.

CAPÍTULO 5
PROCESOS UNITARIOS EN PLANTAS POTABILIZADORAS: PRETRATAMIENTO, AIREACIÓN Y TRANSFERENCIA DE GASES

5.1 DEFINICIÓN

(1) Fenómeno físico mediante el cual las moléculas de un gas son intercambiadas entre un líquido y un gas a una interfase gas – líquido dando como resultado el incremento de la concentración de gas o gases en la fase líquida en tanto ésta fase no esté saturada con el gas a determinadas condiciones dadas, tales como: presión, temperatura (absorción del gas) y un decremento cuando la fase líquida está sobresaturada (desorción o escape de gas).

(2) En ingeniería sanitaria la transferencia de gases está representada en su fase gaseosa por el “aire” y la líquida por el “agua” y sus constituyentes. La transferencia de gases se produce siempre que exista un contacto entre el agua y el aire por el proceso de aireación.

(3) La transferencia de gases inducida servirá para:

a) Adicionar oxígeno al agua subterránea para oxidar el hierro disuelto y manganeso, para facilitar su remoción.
b) Adición del dióxido de carbono por medio de generadores para aguas ablandadas por el proceso cal – soda, que generalmente están sobresaturadas con carbonato de calcio e hidróxido de magnesio y requieren su estabilización.
c) La adición de ozono o cloro para el proceso de desinfección de las aguas o para la eliminación del sabor y olor.
d) Remoción del dióxido de carbono para ajustar o lograr el equilibrio carbónico respecto al calcio.
e) Remoción de sustancias orgánicas volátiles, productoras de olores y sabores.

5.2 SOLUBILIDAD DE LOS GASES

(1) La solubilidad de los gases en el agua depende de:

a) La naturaleza del gas.
b) La concentración del gas en la fase gaseosa relacionada a la presión parcial del gas en la fase gaseosa.
c) La temperatura del agua.
d) Las impurezas contenidas en el agua.

(2) Para diferentes presiones atmosféricas, temperaturas, la concentración de saturación del oxigeno y la del CO_2 es señalada en la **Tabla 1** a continuación:

Tabla 1. Solubilidades de los gases a diferentes temperaturas y altitudes sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)

Concentración de saturación del Oxígeno mg/l						
Altura m.s.n.m.	**0**	**200**	**400**	**2 000**	**3 500**	**4 000**
Temperatura 0º C	14,66	14,29	13,94	11,40	9,43	8,86
Temperatura 5º C	12,96	12,63	12,32	10,07	8,33	7,82
Temperatura 10º C	11,34	11,06	10,78	8,80	7,28	6,83
Temperatura 15º C	10,24	9,99	9,73	7,94	6,55	6,15
Temperatura 20º C	9,17	8,94	8,72	7,10	5,85	5,48
Temperatura 25º C	8,40	8,19	7,98	6,48	5,33	4,99

Concentración de saturación del Dióxido de Carbono mg/l						
Altura m.s.n.m.	**0**	**200**	**400**	**2000**	**3500**	**4 000**
Temperatura 0º C	1,07	1,04	1,02	0,83	0,69	0,65
Temperatura 5º C	0,90	0,88	0,85	0,70	0,58	0,54
Temperatura 10º C	0,74	0,72	0,70	0,57	0,47	0,44
Temperatura 15º C	0,64	0,62	0,60	0,49	0,41	0,38
Temperatura 20º C	0,54	0,53	0,51	0,42	0,34	0,32
Temperatura 25º C	0,47	0,46	0,44	0,36	0,30	0,28

(3) Las gráficas correspondientes a la variación de concentraciones de saturación del oxígeno y el dióxido de carbono según la altura sobre el nivel del mar y la temperatura se encuentran en el **Gráfico 1, 2, 3** y **4** del **Anexo F.**

5.3 SISTEMAS DE AIREACIÓN

(1) Se recomiendan los siguientes tipos de aireadores:

a) Aireadores de bandejas
b) Aireadores de cascada

5.3.1 Aireadores de bandejas

(1) Consisten en un sistema de bandejas con perforaciones en su parte inferior, colocadas en forma sucesiva con intervalos de 30 a 50 cm. El ingreso de agua es por la parte superior en forma distribuida (Tubería perforada), de donde cae a la primera bandeja y así sucesivamente (Véase la **Figura 1** del **Anexo F**). Los orificios serán circulares con diámetros de 5 mm a 12 mm con una separación de 2.5 cm.

(2) Una variación serán los aireadores de plataformas circulares colocadas sobre un eje vertical, en forma decreciente en sus diámetros de abajo arriba. Se deja caer el agua en la bandeja superior de manera que por gravedad cae en forma de láminas, exponiéndose al aire (Véase la **Figura 2** del **Anexo F**).

(3) Otra variación consiste en los aireadores de bandejas con material de contacto (coke o grava).

5.3.2 Parámetros de diseño

(1) Para el diseño de aireadores de bandeja se podrán adoptar los criterios indicados en la **Tabla 2.**

Tabla 2. Parámetros de diseño – aireadores de bandejas

Parámetro	Valor	Unidad
Carga hidráulica C_H	550 – 1 800 (0,006 – 0,02)	m/d (m^3/m^2 s)
Caudal/ área total de bandejas	500 – 1 600	m/d
Numero de bandejas	4 - 6	
Altura total del aireador	1,2 – 3,0	m
Lecho de contacto: Espesor Coke o piedra, diámetro	 15 – 30 4 -15	 cm cm
Orificios de distribución diámetro separación	 5 – 12 2,5	 mm cm
Profundidad de agua en la bandeja	15	cm
Separación entre bandejas	30 - 75	cm

Adaptado de Romero J (1999)

5.3.3 Dimensionamiento

(1) La superficie de cada bandeja se calculará mediante:

$$S = \frac{Q}{C_H}$$

Donde:
- S Área de la bandeja en m^2
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- C_H Carga hidráulica en m^3/m^2 s

5.3.4 Aireadores de cascada

(1) Una altura disponible es subdividida en varias caídas para incrementar la cantidad de oxígeno al agua que atraviese ésta estructura o por el contrario disminuir el contenido de los gases no deseables.

(2) Los bordes de los peldaños actúan como vertederos, los mismos que producen una lámina de agua que favorece la exposición con el aire. Véase **Figura 3 (a, b, c, d)** del **Anexo F.**

5.3.5 Parámetros de diseño

(1) La **Tabla 3** indica los parámetros de diseño aplicables a aireadores de cascada.

Tabla 3. Parámetros de diseño – aireadores de cascada

Parámetro	Valor	Unidad
Carga hidráulica C_L	1 200 – 6 200 (0,01 – 0,03)	m^3/m d (m^3/m s)
Altura de escalón	15 - 30	cm
Longitud del escalón	30 - 60	cm
Altura de la cascada	1,2 – 5,0	m

Adaptado de Romero J (1999)

5.3.6 Dimensionamiento

(1) La longitud del aireador de cascada se calculará a través de la relación:

$$L = \frac{Q}{C_L}$$

Donde:
- L Longitud total del aireador de cascadas en m
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- C_L Carga Lineal del aireador en m^3/m s

(2) El contenido de oxigeno absorbido en cada escalón se aproxima a través de la siguiente ecuación:

$$C_e = C_0 + K(C_s - C_0)$$

Donde:
- C_e Concentración de oxigeno al final de la caída en mg/l
- C_s Concentración de saturación del oxígeno en mg/l
- C_o Concentración inicial de oxígeno en el agua en mg/l
- K Coeficiente de eficiencia de un escalón (10% al 30% del valor de concentración de saturación, para una altura de 0,30 m)

5.4 OTROS TRATAMIENTOS

(1) El tratamiento de aguas subterráneas puede requerir el diseño de los procesos complementarios de sedimentación y filtración para la remoción de precipitados de hierro y manganeso, los cuales deben circunscribirse a los requisitos indicados en el tratamiento de aguas superficiales.

(2) Para la oxidación del hierro podrá utilizarse el cloro o el permanganato de potasio: El hierro oxidado se debe remocionar del agua a través de sedimentación o filtración.

(3) La remoción de olor y sabor y color debido a la presencia de materia orgánica, se utilizará carbón activado en polvo o granular a través del proceso de mezcla rápida - floculación o filtración correspondientemente.

(4) La remoción de materia disuelta, sales, metales, considerará el uso de membranas específicas para microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis reversa.

CAPÍTULO 6
TRATAMIENTO QUÍMICO EN PLANTAS POTABILIZADORAS CONVENCIONALES

6.1 DEFINICIÓN

(1) Las impurezas presentes en las aguas en forma de partículas en estado coloidal en suspensión fina o disuelta cuyo tamaño está entre 1 y 1000 milimicrones, no son remocionables a través de procesos físicos (sedimentación y filtración). Es necesario incorporar sustancias químicas coagulantes capaces de aglutinar las partículas en masas mayores (flóculos). El proceso de coagulación transforma las pequeñas partículas en grandes aglomerados, de manera que se facilite la sedimentación.

(2) La optimización del proceso de coagulación se produce a determinados valores de pH, para lo cual se requiere la adición de sustancias alcalinizantes o coadyuvantes de la coagulación.

(3) La presencia de microorganismos patógenos en las aguas destinadas al aprovisionamiento puede reducirse parcialmente en procesos de coagulación, y sedimentación. Dependiendo de la concentración inicial y las características físicas y químicas de las aguas se podrán encontrar en los efluentes concentraciones, que deben ser inactivadas a través de un proceso de desinfección.

(4) El proceso de desinfección mas factible técnico - económicamente para grandes sistemas es la cloración, que implica la adición de cloro al agua en cantidad tal que desactive los microorganismos y quede un valor residual que evite la recontaminación de los componentes del sistema.

6.2 SUSTANCIAS COAGULANTES

(1) Se debe utilizar el coagulante más apropiado para el tratamiento. Debe presentar las mayores ventajas en calidad, costo y facilidad de adquisición, almacenamiento y manejo. La Norma **NB 650 "PRODUCTOS QUIMICOS PARA USO INDUSTRIAL; SULFATO DE ALUMINIO"** especifica las características que debe reunir ésta sustancia química para su utilización en el tratamiento de aguas.

(2) La dosificación de coagulante (dosis óptima) debe determinarse en laboratorio a través de la Prueba de Jarras.

(3) Se podrán utilizar otros coagulantes toda vez que el proyectista demuestre su necesidad técnico – económica dentro del tratamiento. La **Tabla 1** muestra las características de los compuestos coagulantes, su presentación y concentración comercial.

Tabla 1. Compuestos coagulantes de uso en tratamiento de aguas de consumo humano.

Compuesto	Fórmula	Presentación	Concentración comercial
Cloruro Férrico	$FeCl_3$ (anhidro solución) $FeCl_3$. 6 H_2O (cristal)	Solución Cristales Granular	35 – 45 % 60 % 96 – 97 %
Sulfato de Aluminio	$Al_2(SO_4)_3$. 24 H_2O	Granular Polvo Líquido	9 % aluminio o 17 % como Al_2O_3 4,23 % de Al soluble en agua u 8 % como Al_2O_3

Tabla 1. Continuación

Compuesto	Fórmula	Presentación	Concentración comercial
Sulfato Férrico	$Fe_2(SO_4)_3$. 3 H_2O (Ferri -clear) $Fe_2(SO_4)_3$ (Ferri – floc)	Granular	68 % $Fe_2(SO_4)_3$ 18.5% Fe 76 % $Fe_2(SO_4)_3$ 21 % Fe
Sulfato Ferroso	Fe SO_4	Granular Cristales Polvo	55% Fe SO_4 20% Fe

6.3 SUSTANCIAS COADYUVANTES DE LA COAGULACIÓN

(1) Se escogerá el coadyuvante de coagulación más apropiado para el tratamiento. Debe presentar las mayores ventajas en calidad, costo y facilidad de adquisición, almacenamiento y manejo. La Norma **NB 647 "PRODUCTOS QUIMICOS PARA USO INDUSTRIAL; CAL VIVA Y CAL HIDRATADA"** especifica las características que debe reunir esta sustancia química para su utilización en el tratamiento de aguas.

(2) La dosificación del coadyuvante de coagulación (dosis óptima) debe determinarse en laboratorio a través de la Prueba de Jarras. Se determinará el pH óptimo de coagulación y la dosis de coadyuvante necesaria.

(3) Se podrán utilizar otros coadyuvantes de coagulación toda vez que el proyectista demuestre su necesidad técnico – económica dentro del tratamiento. La **Tabla 2** muestra las características de los compuestos coadyuvantes de coagulación, su presentación y concentración comercial.

Tabla 2. Coadyuvantes de coagulación utilizados para el tratamiento de aguas

Compuesto	Fórmula	Presentación	Concentración comercial
Hidróxido de Calcio	Ca $(OH)_2$	Polvo	62 % CaO
Cal dolomítica	CaO	Granular Polvo	80 % CaO
Hidróxido de Sodio	Na OH	Polvo	98.9 % Na OH 24,7 % Na_2 O

6.4 SUSTANCIAS DESINFECTANTES

(1) Se debe utilizar el desinfectante más apropiado para el tratamiento. Debe presentar las mayores ventajas en calidad, costo y facilidad de adquisición, almacenamiento y manejo. La Norma **NB 648 "PRODUCTOS QUIMICOS PARA USO INDUSTRIAL; CLORO LIQUIDO"** especifica las características que debe reunir esta sustancia química para su utilización en el tratamiento de aguas.

(2) La dosificación de desinfectantes (dosis) debe determinarse en laboratorio a través de la Prueba de Demanda de Cloro. Debe tenerse en cuenta que la demanda de cloro de cualquier agua, varia con la cantidad de cloro que se aplique, con el tiempo de contacto del que se dispone en la planta de tratamiento con el pH y con la temperatura.

(3) Se podrán utilizar otros desinfectantes toda vez que el proyectista demuestre su necesidad técnico – económica dentro del tratamiento. La **Tabla 3** muestra las características de los compuestos desinfectantes, su presentación y concentración comercial.

Tabla 3. **Compuestos desinfectantes utilizados para el tratamiento de aguas**

Compuesto	Fórmula	Presentación	Concentración comercial
Cloro	Cl_2	Gas líquido bajo presión	99,5%
Hipoclorito de Calcio	$Ca(OCl)_2$. 4 H_2O	Granular Polvo	65 % de cloro disponible en peso (mínimo)
Hipoclorito de Sodio	Na OCl	Solución	10 % de cloro disponible en peso (mínimo)

6.5 MANEJO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS

(1) Las etapas de manipulación de las sustancias químicas desde su ingreso a la planta hasta su aplicación son:

a) Recepción

(1) Dependerá de la presentación de la sustancia (sólida líquida o gaseosa), en bolsas barriles tambores, cilindros u otros. Para la correcta recepción, el almacén debe disponer de plataformas que faciliten la operación de traslado.

b) Almacenamiento

(1) El almacenamiento de productos secos debe realizarse en ambientes libres de humedad. Se apilarán cuando estos vengan en fundas o bolsas, sobre tarimas de madera, disponiéndose éstas entre corredores que sean lo suficientemente anchos como para que circule un carro basculante. El apilado no tendrá una altura mayor a los 2 metros para evitar dificultad en el mismo apilado y el desapilado a momento de utilizar la sustancia para la dosificación.

(2) Los reactivos líquidos se almacenan en recipientes específicos para ello. También pueden disponerse de tanques cisterna, construidos en materiales anticorrosivos, equipados con dispositivos de medida de nivel.

c) Transferencia

(1) Dependerá del tamaño de la planta, pudiendo ser manual o mecánica.

d) Dosificación

(1) La dosificación de las sustancias químicas se efectuará mediante los dosificadores o dispositivos capaces de liberar cantidades prefijadas de productos químicos.

(2) La aplicación de los productos químicos se realiza:

i) **Vía húmeda**. En cuyo caso se debe prever una unidad de preparación y la unidad de dosificación de suspensión o solución, según sea el caso.

ii) **Vía seca**. En cuyo caso se debe prever una tolva de almacenamiento y un dosificador gravimétrico o volumétrico.

6.5.1 Procedimiento de cálculo de soluciones.

(1) El procedimiento de cálculo del sistema de preparación de soluciones y dosificaciones de sustancias comprende:

a) Capacidad.
La capacidad está en directa relación al caudal a tratar.

b) Características de las sustancias
Definirán la dosis máxima y la mínima y su respectiva concentración.

c) Características de los tanques de solución (tinas de dilución)
Tomarán en cuenta los intervalos de llenado (6, 8, 12 horas), el número de tanques (mínimo 2), obteniéndose así una capacidad de almacenamiento y flexibilidad en la operación y mantenimiento.

d) Características de los dosificadores
Deberá tomarse en cuenta la capacidad mínima y la máxima. El número de unidades será de dos como mínimo.

CAPÍTULO 7
UNIDADES DE MEZCLA RÁPIDA

7.1 DEFINICIÓN

(1) La mezcla rápida es una operación empleada en el tratamiento del agua, con el fin de dispersar las diferentes sustancias químicas que puedan emplearse y los gases. El agente físico es el gradiente de velocidad G (s^{-1})

7.2 DISPERSIÓN DE COAGULANTES

(1) Al aplicar sustancias químicas al agua, principalmente coagulantes se debe tener en cuenta el factor de la dispersión de los mismos. La dispersión de los coagulantes progresará en tres fases:

a) Hidrólisis de los iones (Al (III), Fe (III), esta fase se realiza entre 10^{-10} y 10^{-3} segundos.
b) Difusión de los compuestos formados y adsorción de ellos en las partículas coloidales, que puede variar entre $8,5x\ 10^{-5}$ y $2,4\ x\ 10^{-4}$ segundos.
c) Polimerización y reacción de los iones hidratados, para formar especies diméricas y poliméricas. Se realiza en tiempos de 10^{-2} y 1 segundo.

(2) Una vez desestabilizados los coloides, empiezan a aglutinarse formando microflóculos con diámetros inferiores a una micra, lo que puede tardar menos de 60 segundos; luego estos núcleos se aglutinarán en partículas mayores (16,8 segundos a 546 segundos) y por último se hidratarán aumentando su volumen.

7.2.1 Relación entre tipo de coagulación y dispersión de los coagulantes

(1) Existen dos tipos de coagulación: la de adsorción – neutralización y la de barrido o por incorporación. La primera ocurre en 0,01 a 1,0 segundos, la segunda cuando hay precipitación masiva de hidróxido de aluminio y se completa en 1 a 7 segundos.

(2) A tiempo de realizar pruebas de tratabilidad, se debe determinar el tipo de coagulación que se lleve a cabo en la planta y se debe reportar sus características.

7.2.2 Gradientes y tiempos óptimos para mezcla rápida por coagulación

(1) Para el proceso de mezcla rápida por coagulación de barrido pueden seleccionarse gradientes de 400 s^{-1} a 800 s^{-1} y tiempos de 30 a 180 segundos. Para procesos con coagulación por adsorción – desestabilización, gradientes entre 1 000 y 3 000 s^{-1} con tiempos de 1 a 5 segundos (los mayores tiempos para gradientes más bajos).

7.2.3 Mezcladores de flujo de pistón

(1) Los más difundidos por su simple operación y mantenimiento son: Canaleta Parshall, resalto hidráulico y los vertederos.

(2) La canaleta Parshall se adecua a las plantas medianas a grandes ($Q \geq 500$ l/s). En plantas medianas a pequeñas (100 l/s <Q < 500 l/s), se recomienda el vertedero rectangular. En las plantas pequeñas (Q< 50 l/s) se utilizará un vertedero triangular como unidad de mezcla, preferiblemente para caudales menores a 30 l/s.

7.2.3.1 Canaleta Parshall.

(1) Consiste en un segmento de canal con cambio rápido de pendientes y constricción en el punto llamado garganta.

(2) Aguas arriba de la canaleta el agua pasa por la profundidad crítica y debido al cambio de pendiente se acelera hasta crear un régimen supercrítico que se convierte en un salto hidráulico al encontrar la pendiente negativa en la sección G de salida en la que el régimen es subcrítico.

(3) Debe cumplir los siguientes requisitos mostrados en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Grado de sumergencia en función a la garganta

Ancho de Garganta W	(cm)	Máxima sumergencia (h_b/h_a)
3 a 9 pulgadas	7.5 – 22.9	0,6
1 – 8 pies	30.5 – 244	0,7
10 – 50 pies	305 - 1525	0,8

a) Que no trabaje ahogada, es decir que la relación h_b / h_a no exceda los siguientes valores.

b) Que la relación h_a/W este entre 0,4 y 0,8, para que la turbulencia del resalto no penetre en la profundidad dentro de la masa de agua, dejando una capa bajo el resalto en que el flujo se transporta con un mínimo de agitación.

c) El número de Froude debe estar entre 1,7 a 2,5 o 4,5 y 9,0. Debe evitarse números entre 2,5 y 4,5, producen resaltos inestables los cuales no permanecen en su posición dificultando la aplicación de coagulantes.

(4) La **Figura 1** del **Anexo G**, muestra el detalle de l canaleta Parshall en corte y planta, donde se detallan las dimensiones.

7.2.3.1.1 Parámetros de diseño

a) La carga hidráulica disponible será:

$$E_0 = \frac{V_0^2}{2g} + H_0 + N$$

Donde:
- E_o Carga hidráulica disponible en m
- V_0 Velocidad en la sección de medición en m/s
- g Gravedad en m/s^2
- H_0 Altura de agua en la sección de medición en m
- N Dimensiones de la canaleta (**Tabla 3**)

b) La altura de agua en la sección de medición se calcula por la ecuación:

$$H_0 = K * Q^m$$

Donde: H_0 Altura de agua en la sección de medición en m
K, m Constantes (**Tabla 2**)
Q Caudal de diseño en m^3/s

c) Los valores de K y m se obtienen de la **Tabla 2** mostrada a continuación:

Tabla 2. **Valores de K y m según el tamaño de la garganta W**

ANCHO DE LA GARGANTA DEL PARSHALL (W)		K	m
Pulgadas - pies	**Metros**		
3”	0.075	3.704	0.646
6”	0.150	1.842	0.636
9”	0.229	1.486	0.633
1’	0.305	1.276	0.657
1 ½ ‘	0.460	0.966	0.650
2’	0.610	0.795	0.645
3’	0.915	0.608	0.639
4’	1.22	0.505	0.634
5’	1.525	0.436	0.630
6’	1.83	0.389	0.627
8’	2.44	0.324	0.623

d) La velocidad en la sección de medición será:

$$V_0 = \frac{Q}{H_0 D^1}$$

Donde: H_0 Altura de agua en la sección de medición en m
D^1 Ancho de la sección de medición en m (ver **7.3.2.1.2 d)**)
Q Caudal de diseño en m^3/s

d) Los medidores Parshall presentan medidas estandarizadas que pueden obtenerse de la **Tabla 3** a continuación:

Tabla 3. Dimensiones estandarizadas de los medidores Parshall

W Pulg/pie	W cm	A cm	B cm	C cm	D cm	E cm	F cm	G[1] cm	K[1] cm	N cm
1”	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
3”	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	45,7	15,2	30,5	2,5	5,7
6”	15,2	61,0	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4
9”	22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	76,3	30,5	45,7	7,6	11,4
1’	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
1 ½’	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
2’	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
3’	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
4’	122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
5’	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
6’	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
7’	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
8’	244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
10’	305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,5	15,3	34,3

7.2.3.1.2 Dimensionamiento

(1) El dimensionamiento está basado en el valor del caudal y el ancho de la garganta que se adopte.

a) Q = Caudal de diseño (dato) en m^3/s.

b) W = ancho de la garganta (m); se debe adoptar un valor para los cuales se tiene los valores de K y m de la **Tabla 2** y se verificarán las condiciones hidráulicas.

c) Altura de agua en la sección de medición en m:

$$H_0 = K * Q^m$$

d) Ancho de la sección de medición D^1 en metros:

$$D^1 = 2/3(D - W) + W$$

Donde: D^1 = Dimensión de la canaleta en metros (**Tabla 3**):

e) Velocidad en la sección de medición: en m/s:

$$V_0 = \frac{Q}{H_0 D^1}$$

f) Caudal específico en m^3/s m:

$$q = \frac{Q}{W}$$

g) Carga Hidráulica disponible en m:

$$E_0 = \frac{V_0^{\,2}}{2g} + H_0 + N \;\;;$$

Donde: N Dimensión de la canaleta en m (**Tabla 3**)

h) Velocidad antes del resalto V_1 en m/s:

$$V_1 = 2\sqrt{\frac{2g * E_0}{3}} * \cos\frac{\theta}{3} \qquad ; \qquad \cos\theta = -\frac{q * g}{\left(\frac{2}{3} g * E_0\right)^{1,5}}$$

i) Altura de agua antes del resalto h_1 en m:

$$h_1 = \frac{q}{V_1}$$

j) Número de Froude F_1 (adimensional):

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g h_1}}$$

k) Altura del resalto h_2 en m:

$$h_2 = \frac{h_1}{2}\left[\sqrt{1 + 8F_1^{\,2}} - 1\right]$$

l) Velocidad en el resalto V_2 en m/s:

$$V_2 = \frac{Q}{W * h_2}$$

m) Altura en la sección de salida de la canaleta h_3 en m:

$$h_3 = h_2 - (N - K^1)$$

Donde: K^1 Dimensión en m (**Tabla 3**)

m) Velocidad en la sección de salida V_3 en m/s:

$$V_3 = \frac{Q}{W * h_3}$$

o) Pérdida de carga en el resalto h_p en m:

$$h_p = H_0 + K^1 - h_3$$

p) Tiempo de mezcla en el resalto T en s:

$$T = \frac{2 * G^1}{V_2 + V_3}$$

Donde: G^1 Dimensión en m (**Tabla 3**)

q) Gradiente de velocidad G en s^{-1}:

$$G = \sqrt{\frac{\lambda}{\mu}} * \sqrt{\frac{h_p}{T}}$$

Donde:
- G Gradiente de velocidad en s^{-1}
- λ Peso específico del agua = 1 000 kg/m^3
- μ Viscosidad absoluta en kg s/m^2

(2) La **Tabla 4** proporciona los valores $\sqrt{\frac{\lambda}{\mu}}$, para diferentes temperaturas.

Tabla 4. Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta a diferentes temperaturas

Temperatura ºC	$\sqrt{\frac{\lambda}{\mu}}$
0	2336.94
4	2501.56
10	2736.53
15	2920.01
20	3114.64
25	3266.96

7.2.3.2 Mezclador de resalto hidráulico

(1) Consiste en un canal rectangular, con un vertedero también rectangular sin contracciones en su sección. La lámina vertiente, después de pasar el vertedero toca el fondo del canal en la sección 1, a una distancia L_m del vertedero. Cuando la lámina de agua alcanza el fondo, se subdivide en una corriente principal que se mueve hacia el frente y en una secundaria que retorna. Para evitar zonas muertas entre la pared del vertedero y la base del canal, el diseño podrá ajustarse a lo mostrado en la **Figura 2** del **Anexo G**.

(2) Estas unidades se adecúan a las calidades de agua, en las que la mayor parte del tiempo se esté coagulando mediante mecanismo de adsorción. Sirven como medidores y unidades de mezcla rápida.

a) Gradientes de velocidad: 1 000 – 2 000 s^{-1}
b) Tiempo de retención: < 1 segundo
c) Número de Froude: 4,5 – 9,0

7.2.3.2.1 Parámetros de diseño

a) Las alturas de agua antes (h_1) y después del resalto (h_2) deben satisfacer la relación:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{1+8F^2} - 1\right) \quad ; \quad F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}$$

Donde:
- F_1 Nº de Froude (adimensional)
- V_1 Velocidad en la sección de mezcla en m/s
- g Gravedad en m/s^2

b) La energía disipada o pérdida de carga en m, se calcula en la longitud del resalto (L).

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1 * h_2}$$

c) La longitud del resalto será L en m:

$$L = 6(h_2 - h_1)$$

d) El tiempo de mezcla T en s:

$$T = \frac{2L}{V_1 + V_2}$$

e) Gradiente de velocidad G en s^{-1}:

$$G = \sqrt{\frac{\lambda}{\mu}} * \sqrt{\frac{h_p}{T}}$$

7.2.3.2.2 Dimensionamiento

(1) El dimensionamiento está basado en el valor del caudal y el ancho del vertedero y la altura de la cresta.

a) Q = Caudal de diseño dato en m^3/s

b) B = Ancho de vertedero en m; se adoptará un valor para el cual se verificarán las condiciones hidráulicas.

c) P = altura de la cresta en m; se adoptará un valor para el cual se verificarán las condiciones hidráulicas.

d) Caudal específico q en m^3/sm:

$$q = \frac{Q}{B}$$

e) Carga Hidráulica disponible H en m:

$$H = 0{,}67 * q^{2/3}$$

f) Altura crítica h_c en m:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

g) Altura de agua en la sección (1) h_1 en m:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * h_c}{\sqrt{\frac{P}{h_c} + 2{,}56}}$$

h) Velocidad en la sección (1) V_1; en m/s:

$$V_1 = \frac{q}{h_1}$$

i) Número de Froude F_1 (adimensional):

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}$$

j) Altura de agua en la sección (2) h_2 en m:

$$h_2 = \frac{h_1}{2}\left(\sqrt{1+8F^2} - 1\right)$$

k) Velocidad en la sección (2) V_2; en m/s:

$$V_2 = \frac{q}{h_2}$$

l) Longitud del resalto L_j en m:

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

m) Distancia del vertedero a la sección (1) L_m; en m:

$$L_m = 4{,}3 * P\left(\frac{h_c}{P}\right)^{0,9}$$

n) Pérdida de carga en le resalto h_p en m:

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1 * h_2}$$

o) Velocidad media V_m en m/s:

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

p) Tiempo de mezcla T en s:

$$T = \frac{L_j}{V_m}$$

q) Gradiente de velocidad G en s^{-1}:

$$G = \sqrt{\frac{\lambda}{\mu}} * \sqrt{\frac{h_p}{T}}$$

7.2.4 Mezcladores rápidos mecánicos

(1) Un mezclador rápido mecánico está compuesto de un tanque diseñado para un periodo de retención y un sistema de agitación mecánico. La sección del tanque podrá ser circular o cuadrada provista de baffles laterales que eviten la formación del vórtice.

(2) Los mezcladores mecánicos son fabricados específicamente para el tratamiento de las aguas y consisten en hélices, paletas, turbinas u otros dispositivos similares acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza motriz. Los ejes giran a altas velocidades agitando al agua en forma propicia para la mezcla rápida y uniforme del coagulante. Véase la **Figura 3** del **Anexo G**

7.2.4.1 Parámetros de diseño

(1) El gradiente de velocidad aplicado a mezcladores mecánicos se debe calcular con la siguiente relación:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

Donde:
- G Gradiente de velocidad en s^{-1}
- P Potencia inducida al agua en Watts
- μ Viscosidad dinámica en kg s/m
- V Volumen del tanque en m^3

(2) La **Tabla 5** da la variación de la densidad del agua y la viscosidad dinámica del agua con la temperatura.

Tabla 5. Variación entre densidad del agua, la viscosidad y la temperatura

Temperatura ºC	0	5	10	15	20	25	30
Densidad ρ en kg/m^3	999,9	1 000	999,7	999,1	998,2	997,1	995,7
Viscosidad dinámica en kg/m s	0,00179	0,00152	0,00131	0,00114	0,00101	0,00089	0,00080

(3) La potencia para establecer condiciones de turbulencia completa, será para un Número de Reynolds Re > 100 000 y tendrá la expresión:

$$P = K * \rho * N^3 * d^5$$

Donde:
- P Potencia requerida en watts
- K Número de potencia
- ρ Densidad del agua en kg/m^3
- N Velocidad del impulsor en rps
- d Diámetro del impulsor en m

(4) El número de Reynolds esta dado por:

$$Re = \frac{\rho * N * d^2}{\mu}$$

Donde:
- Re Número de Reynolds (adimensional)
- ρ Densidad del agua en kg/m^3
- N Velocidad del impulsor en rps
- d Diámetro del impulsor en m
- μ Viscosidad dinámica en kg s/m

(5) El valor de K depende del tipo, forma y tamaño del impulsor, del número de baffles y demás variables no incluidas en la ecuación de potencia. La **Tabla 6** muestra los valores de K para los diferentes impulsores en tanques con baffles.

Tabla 6. **Número de Potencia para diferentes tipos de impulsores**

Impulsor	Nº de Potencia K
Hélice pitch cuadrada, 3 aletas	0,32
Hélice pitch 2, 3 aletas	1,0
Turbina, 6 aletas planas	6,3
Turbina, 6 aletas curvas	4,8
Turbina ventilador; 6 aletas	1,65
Turbina, 6 aletas punta de flecha	4,0
Turbina paletas planas, 2 paletas	1,7
Turbina de impulsor encerrado, 6 aletas curvas	1,08
Turbina de impulsor encerrado con estator(sin baffles)	1,12

(6) Para la coagulación con sulfato de aluminio se utilizará la siguiente ecuación:

$$GTC^{1,46} = 5,9 * 10^{6}$$

Donde:
- G Gradiente de velocidad en s^{-1}
- T Tiempo óptimo de mezcla rápida en s
- C Dosis de coagulante (Sulfato de Aluminio) en mg/l

7.2.4.2 Dimensionamiento

(1) El dimensionamiento tomará en cuenta los siguientes valores para el tiempo de contacto y el gradiente hidráulico. La **Tabla 7** muestra valores característicos de estos parámetros.

Tabla 7. Tiempo de contacto y gradiente hidráulico para mezcla rápida

Tiempo de Contacto (s)	Gradiente (s^{-1})
20	1 000
30	900
40	790
>40	700

Fuente. AWWA 2002

(2) Los valores recomendados para el dimensionamiento son los siguientes:

Tiempo de retención: 10 – 90 s
Nº de Reynolds: 100 000
Velocidad tangencial: 0,6 m/s
Longitud de las paletas: 1/3 del ancho o diámetro del tanque

a) Para que la mezcla sea completa el agua debe ingresar por la parte inferior del tanque y saldrá por la superior.

b) Los tanques de mezcla deben estar lo más cerca posible de los tanques de floculación.

c) El número de unidades de mezcla rápida será de dos como mínimo.

d) Debe disponerse de drenajes para la limpieza, calculados para tiempos razonables.

CAPÍTULO 8
UNIDADES DE FLOCULACIÓN

8.1 DEFINICIÓN

(1) La floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; es el proceso mediante el cual se aplica una mezcla de bajo gradiente para incrementar las colisiones interparticulares sin romper los agregados formados.

(2) De forma análoga a la coagulación, la floculación está influenciada por las fuerzas químicas y físicas (carga eléctrica de las partículas, capacidad de intercambio, tamaño y concentración del flóculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de electrolitos).

(3) El desconocimiento de la influencia y magnitud del efecto de cada uno de los factores exige que el agua a ser tratada sea sometida a pruebas de tratabilidad (Prueba de Jarras), que en éste caso están referidas a las pruebas de floculación (tiempo óptimo y gradientes de floculación), realizadas en laboratorio.

8.2 FLOCULADORES HIDRÁULICOS

8.2.1 Floculador de flujo horizontal

(1) Consiste en un tanque de concreto dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto, madera u otro material adecuado, dispuesto de forma tal que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques. Véase **Figura 1** del **Anexo H.** El floculador de flujo horizontal es recomendable para caudales menores a 100 l/s.

8.2.1.1 Parámetros de diseño

(1) Los principales parámetros de diseño son el gradiente de velocidad G (s^{-1}) y el tiempo de floculación, en función de las dosis de coagulante, para cada cámara, que deben ser obtenidos de una planta piloto o en laboratorio a través de una prueba de jarras que señale los valores de los parámetros.

(2) Cada uno de los compartimientos (mínimo 3) se diseñarán para diferentes gradientes y tiempos de retención. La **Tabla 1** muestra el rango de valores de los gradientes en cada cámara, considerando que las velocidades del flujo no deben ser menores a 0,1 m/s ni mayores a 0,60 m/s para evitar la sedimentación y la ruptura del floc correspondientemente.

Tabla 1. Rango de gradientes hidráulicos para cada compartimiento o cámara

Compartimiento o cámara	Gradiente (s^{-1})
1	50 – 100
2	20 – 50
3	10 – 40

(3) El tiempo total de floculación varía de 15 a 30 minutos (IRC 1981). El tiempo para cada compartimiento o cámara se determinará a partir de la ecuación del floculador.

(4) De pruebas de laboratorio se obtendrá la ecuación del floculador cuya expresión es:

$$GT^n = K$$

Donde:
- G Gradiente de velocidad en s^{-1}
- T Tiempo de floculación en s
- n,K Coeficientes que dependen de la calidad del agua

(5) El número de baffles necesarios para alcanzar el gradiente de velocidad de diseño se calculará por la relación:

$$n = \left\{ \left[(2\mu T / \rho (1.44 + f) \right] * \left[HLG/Q \right]^2 \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde:
- n Número de baffles en la cámara o compartimiento
- H Profundidad de agua en el tanque en m
- L Largo del tanque en m
- G Gradiente de velocidad en s^{-1}
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- T Tiempo de floculación en s
- μ Viscosidad dinámica en kg /m s (Véase **Tabla 5** del **Capítulo 7**)
- ρ Densidad del agua en kg/m^3
- f Coeficiente de fricción de los baffles (madera = 0,3)

8.2.1.2 Dimensionamiento

a) Volumen del floculador V en m^3.

$$V = Q * T$$

Donde:
- V Volumen total del floculador en m^3
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- T Tiempo de floculación en s

b) Ancho del floculador en m.

$$W = \frac{V}{L * H}$$

Donde:
- W Ancho del floculador en m
- V Volumen total del floculador en m^3
- L Longitud del floculador en m; (asumido por el proyectista)
- H Altura de agua; recomendable ≥ 1 metro (asumido por el proyectista)

c) Ancho de cada sección (compartimiento).

$$W_c = \frac{W}{N}$$

Donde:
- W_c Ancho de cada compartimiento en m
- W Ancho del floculador en m
- N Número de compartimientos (mínimo 3)

d) Número de baffles en cada sección o compartimiento:

$$n_1 = \left\{ \left[(2\mu T_1) / \rho(1.44 + f) \right] * \left[HLG_1/Q \right]^2 \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$n_2 = \left\{ \left[(2\mu T_2) / \rho(1.44 + f) \right] * \left[HLG_2/Q \right]^2 \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$n_3 = \left\{ \left[(2\mu T_3) / \rho(1.44 + f) \right] * \left[HLG_3/Q \right]^2 \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde:
- n_i Número de baffles en cada compartimiento
- T_i Tiempo de floculación en cada compartimiento en s
- G_i Gradiente en cada compartimiento en s^{-1}

e) Espacio entre baffles en cada sección o compartimiento:

$$S_i = \frac{L}{n_i}$$

Donde:
- S_i Espacio entre baffles en cada compartimiento en m
- L Longitud del floculador en m; (asumido por el proyectista)
- n_i Número de baffles en la sección o compartimiento

f) Pérdida de carga en cada sección o compartimiento:

$$h_{pi} = \frac{\mu * T_i}{\rho * g} * G_i^2$$

Donde:
- h_{pi} Pérdida de carga en cada sección o compartimiento en m
- μ Viscosidad dinámica en kg /m s (Véase **Tabla 5** del **Capítulo 7**)
- ρ Densidad del agua en kg/m^3
- g Constante gravitacional en m/s^2
- T_i Tiempo de floculación en cada compartimiento en s
- G_i Gradiente en cada compartimiento en s^{-1}

g) Verificación de la velocidad del flujo:

$$V_i = \frac{Q}{A_i} \quad ; \quad A_i = S_i * H$$

Donde:
- V_i Velocidad del flujo en cada uno de los compartimientos en m/s
  - V_i menor a 0,60 en m/s (evita ruptura de floc)
  - V_i mayor a 0,10 en m/s (evita sedimentación del floc)
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- A_i Área transversal de cada compartimiento en m^2
- S_i Espaciamiento entre baffles en cada compartimiento en m
- H Altura de agua en m

(1) La **Tabla 2** proporciona las guías para el diseño y construcción de floculadores de flujo horizontal.

Tabla 2. Guías de diseño y construcción – floculadores de flujo horizontal

1. La distancia entre baffles no debe ser menor a 45 cm, para facilitar la limpieza*.
2. La distancia de separación entre el extremo de cada baffle y la pared será de 1.5 veces la distancia entre baffles. No debe ser menor a 60 cm.
3. La altura de agua no debe ser menor a 1.0 m.
4. Los baffles no deben corroerse, por lo que la madera es preferible antes que el metal.
5. Evitar usar baffles de asbesto cemento debido a la corrosión que sufren (pH de coagulación).

* Valores menores son aceptables desde el punto de vista hidráulico.

8.2.2 Floculador de flujo vertical.

(1) Consiste en un tanque de concreto dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto madera u otro material adecuado, dispuesto deforma tal que el agua fluya hacia arriba y hacia abajo, por encima y por debajo de los tabiques, baffles o pantallas. Véase **Figura 2** del **Anexo H.**

(2) El floculador de flujo vertical es recomendable para caudales mayores a 100 l/s.

8.2.2.1 Parámetros de diseño

(1) La pérdida de energía, para el flujo por encima de cada tabique o baffle, se calcula por la fórmula para vertedero ahogado rectangular de pared delgada, sin contracciones. La pérdida por flujo por debajo de cada tabique es igual a la de un orificio ahogado. La altura de los tabiques para paso por encima se va disminuyendo, de acuerdo con la pérdida a fin de mantener constante la altura de agua. Para prevenir la formación de lodo en el fondo del tanque se deja un orificio en los tabiques correspondientes, a ras del piso de área igual al 5% del área horizontal de cada canal entre baffles.

(2) Los gradientes de velocidad en cada uno de los compartimientos son los señalados para floculadores de flujo horizontal (Véase **Tabla 1** del inciso **8.2.1.1**), tomando en cuenta que las velocidades en las cámaras no deben se menores a 0,1 m/s ni mayores a 0,60 m/s, evitándose la sedimentación y ruptura de los flóculos.

(3) El tiempo total de floculación varía de 15 a 30 minutos (IRC 1981). El tiempo para cada compartimiento se determinará a partir de la ecuación del floculador.

(4) De pruebas de laboratorio se obtendrá la ecuación del floculador cuya expresión es:

$$GT^n = K$$

Donde:
- G Gradiente de velocidad en s^{-1}
- T Tiempo de floculación en s
- n, K Coeficientes de calidad del agua

(5) El número de baffles necesarios para alcanzar el gradiente de velocidad de diseño se calculará por la relación:

$$n = \left\{ \left[(2\mu T) / \tilde{n}(1.44 + f) \right] * \left[WLG/Q \right]^2 \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde:
- n Número de baffles en la cámara
- W Ancho del tanque en m
- L Largo del tanque en m
- G Gradiente de velocidad en s^{-1}
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- T Tiempo de floculación en s
- μ Viscosidad dinámica en kg m/s (Véase **Tabla 5** del **Capítulo 7**)
- ρ Densidad del agua en kg/m^3
- f Coeficiente de fricción de los baffles (0,3)

8.2.2.2 Dimensionamiento

a) Volumen del floculador V en m^3

$$V = Q * T$$

Donde:
- V Volumen total del floculador en m^3
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- T Tiempo de floculación en s

b) Ancho del floculador en m

$$W = \frac{V}{L * H}$$

Donde:
- W Ancho del floculador en m
- V Volumen total del floculador en m^3
- L Longitud del floculador en m; (Asumido por el proyectista)
- H Altura de agua; recomendable 3m – 4 m; (Asumido por el proyectista)

c) Ancho de cada sección (compartimiento)

$$W_c = \frac{W}{N}$$

Donde:
- W_c Ancho de cada compartimiento en m
- W Ancho del floculador en m
- N Número de compartimientos (mínimo 3)

$$n_1 = \left\{ \left[(2\mu T_1) / \rho(1.44 + f) \right] * \left[W_c L G_1 / Q \right]^2 \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$n_2 = \left\{ \left[(2\mu T_2) / \rho(1.44 + f) \right] * \left[W_c L G_2 / Q \right]^2 \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$n_3 = \left\{ \left[(2\mu T_3) / \rho(1.44 + f) \right] * \left[W_c L G_3 / Q \right]^2 \right\}^{\frac{1}{3}}$$

- n_i Número de baffles en cada compartimiento
- T_i Tiempo de floculación en cada compartimiento en s
- G_i Gradiente en cada compartimiento en s^{-1}

d) Espacio entre baffles en cada sección o compartimiento:

$$S_i = \frac{L}{n_i}$$

Donde:
- S_i Espacio entre baffles en cada compartimiento en m
- L Longitud del floculador en m; (asumido por el proyectista)
- n_i Número de baffles en la sección o compartimiento

e) Pérdida de carga en cada sección o compartimiento:

$$h_{pi} = \frac{\mu * T_i}{\rho * g} * G_i^2$$

Donde:
- h_{pi} Pérdida de carga en cada sección o compartimiento en m
- μ Viscosidad dinámica en kg /m s (Véase **Tabla 5** del **Capítulo 7**)
- ρ Densidad del agua en kg/m^3
- g Constante gravitacional en m/s^2
- T_i Tiempo de floculación en cada compartimiento en s
- G_i Gradiente en cada compartimiento en s^{-1}

f) Verificación de la velocidad del flujo:

$$V_i = \frac{Q}{A_i} \quad ; \quad A_i = S_i * H$$

Donde:
- V_i Velocidad del flujo en cada uno de los compartimientos en m/s
  V_i menor a 0,60 en m/s
  V_i mayor a 0,10 en m/s
- Q Caudal de diseño en m^3/s
- A_i Área transversal de cada compartimiento en m^2
- S_i Espaciamiento entre baffles en cada compartimiento en m
- H Altura de agua en m

(1) La **Tabla 3** proporciona las guías para el diseño y construcción de floculadores de flujo vertical.

Tabla 3. Guías de diseño y construcción – floculadores de flujo vertical

1. La distancia entre baffles no debe ser menor a 45 cm, para facilitar la limpieza*.
2. La distancia de separación entre el extremo superior de cada baffle y la superficie del agua o la distancia entre el extremo inferior de cada baffle y el fondo del tanque debe ser 1.5 veces la distancia entre baffles.
3. La altura de agua puede alcanzar los 4 metros o más en función al caudal.
4. Los baffles no deben corroerse, por lo que la madera es preferible antes que el metal.
5. Evitar usar baffles de asbesto cemento debido a la corrosión que sufren (pH de coagulación).
6. Orificios de fondo deben preverse para evitar la acumulación de lodo cuya área sea igual al 5% del área horizontal de cada canal entre baffles.

* Valores menores son aceptables desde el punto de vista hidráulico.

8.3 FLOCULADORES MECÁNICOS

(1) Unidades a las cuales se introduce potencia al agua para asegurar la mezcla lenta. El más usado es el de paletas, sean estos de eje horizontal o vertical. También existen impulsores de turbina y de flujo axial. Como el grado de mezcla es variable, según la calidad del agua, es necesario que el equipo sea de velocidad variable. La **Figura 3** del **Anexo H,** muestra los tipos de floculadores mecánicos.

8.3.1 Parámetros de diseño

a) Gradiente de velocidad: 5 - 100 s^{-1}

b) Número de Camp (GT): 30 000 – 150 000

c) Tiempo de Floculación: 20 – 60 minutos

d) Velocidad de las paletas: 0,03 – 0,9 m/s

e) Área de las paletas: 10 – 25 % del área de la sección transversal

8.3.2 Dimensionamiento

a) Para controlar cortocircuitos, por lo menos 3 compartimientos en serie.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu * V}}$$

Donde:
- G Gradiente de velocidad en s^{-1}
- P Potencia disipada en la mezcla en Watts
- μ Viscosidad dinámica del fluido en kg /m s
- V Volumen en m^3

b) Para tanques con agitadores mecánicos:

$$P = F_D * v$$

Donde:
- P Potencia en Watts
- F_D Fuerza de arrastre sobre las paletas en Newton
- v Velocidad relativa de las paletas con respecto al fluido en m/s

$$F_D = \frac{C_D * \rho * A * v^2}{2}$$

Donde:
- C_D Coeficiente de arrastre de las paletas
- ρ Densidad del fluido en kg/m^3
- A Área transversal de las paletas en m^2
- v Velocidad relativa de las paletas con respecto al fluido en m/s

$$v = 0.75 * v_p$$

Donde:
- V_p Velocidad de las paletas < 1,0 m/s

c) La Potencia aplicada a las paletas:

$$P = \frac{C_D * \rho * A * v^3}{2}$$

Donde:
- C_D Coeficiente de arrastre de las paletas (1,5); para 20 ºC

d) Gradiente de velocidad:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu * V}}$$

Donde:

G	Gradiente de velocidad en	s^{-1}
P	Potencia disipada en la mezcla en Watts	
μ	Viscosidad dinámica del fluido en kg /m s	
V	Volumen en	m^3

CAPÍTULO 9
UNIDADES DE SEDIMENTACIÓN DE ALTA TASA Y FLOTACIÓN

9.1 DEFINICIÓN

(1) Las Unidades de sedimentación de alta tasa son de alta eficiencia y de poca profundidad con relación a los sedimentadores clásicos. Se realiza en elementos poco profundos; placas planas paralelas, placas onduladas paralelas, módulos tubulares, de sección cuadrada, hexagonal, octogonal y otras, colocados en los tanques, presentando en cada caso eficiencias particulares. Los tiempos de retención son cortos (15 minutos).

9.2 SEDIMENTADORES DE FLUJO ASCENDENTE

(1) Unidades de tratamiento en las cuales el flujo de agua atraviesa a los elementos insertos en forma ascendente. Véase **Figura 1** del **Anexo I.**

9.3 SEDIMENTADORES DE FLUJO DESCENDENTE

(1) Unidades de tratamiento en las cuales el flujo atraviesa a los elementos insertos en forma descendente. Véase **Figura 2** del **Anexo I.**

9.3.1 Parámetros de diseño

(1) Tanto para sedimentadores de flujo ascendente como descendente, se aplican las mismas relaciones.

(2) En general para sedimentadores de alta tasa, la velocidad crítica de asentamiento está dada por:

$$V_{sc} = \frac{S_c v_0}{Sen\theta + LCos\theta}$$

Donde:
- V_{sc} Velocidad crítica de asentamiento o carga superficial de sedimentación de alta tasa
- v_0 Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación de alta tasa o carga superficial en el área de sedimentación de alta tasa.
- θ Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa.
- L Longitud relativa del sedimentador de alta tasa, en flujo laminar.
- S_c Parámetro característico; igual a 1,0 para sedimentadores de placas paralelas.
- S_c Parámetro característico; igual a 4/3 para tubos de sección circular.
- S_c Parámetro característico; igual a 11/8 para conductos de sección cuadrada.

(3) El valor de S_c para sedimentadores de placas paralelas es 1,0. Cualquier partícula suspendida con un valor de S mayor o igual a 1,0 en un sedimentador de placas paralelas será removida.

9.3.2 Dimensionamiento

a) Número de Reynolds

El número de Reynolds debe ser menor a 500 para garantizar el flujo en transición.

$$Re = \frac{v_0 * d}{\nu} \quad ; \quad \nu = \frac{497 * 10^{-6}}{(T + 42{,}5)^{1.5}}$$

Donde:
- Re Número de Reynolds (adimensional)
- v_0 Velocidad promedio del fluido en el sedimentador en m/d
- d Ancho del conducto o espaciamiento entre placas en m
- ν Viscosidad cinemática en m^2/s
- T Temperatura del agua en ºC

b) Tiempo de retención

El tiempo de retención es de 3 a 6 minutos en los sedimentadores de tubos y de 15 a 25 minutos en sedimentadores de placas.

$$t = \frac{l}{v_0}$$

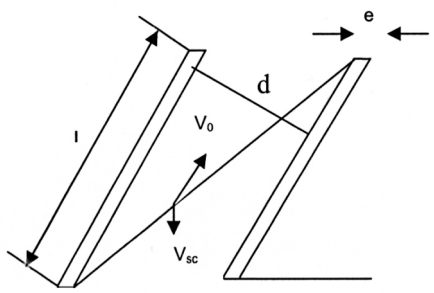
Donde:
- t Tiempo de retención en min
- l Longitud recorrida a través del elemento (tubo, placa) en m
- v_0 Velocidad promedio del fluido en el sedimentador en m/min

c) Velocidad crítica de sedimentación

$$V_{sc} = \frac{S_c v_0}{Sen\theta + L_c Cos\theta}$$

$$L_c = L - L' \quad ; \quad L = \frac{l}{d} \quad ; \quad L` = 0{,}013 * Re$$

Donde;
- S_c Parámetro característico; igual a 1,0 para sedimentadores de placas paralelas.
- S_c Parámetro característico; igual a 4/3 para tubos de sección circular.
- S_c Parámetro característico; igual a 11/8 para conductos de sección cuadrada.
- v_0 Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación de alta tasa o carga superficial en el área de sedimentación de alta tasa
- L Longitud relativa del sedimentador (adimensional)
- L_c Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en flujo laminar, corregida en la longitud de transición L` (adimensional)
- l Longitud recorrida a través del elemento (tubo, placa) en m
- d Ancho del conducto o espaciamiento entre placas en m
- Re Número de Reynolds (adimensional)
- θ Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa.



e = Espesor de placa
d = Distancia entre placas
l = Longitud de placa

d) Velocidad promedio de flujo entre placas:

$$v_0 = \frac{Q}{A_s * Sen\theta}$$

e) Carga superficial:

$$CS = \frac{Q}{A_s} \quad ; \quad A_s = \frac{Q}{CS}$$

Donde:
- CS Carga superficial de sedimentación en m^3/m^2d
- Q Caudal de diseño en m^3/d
- A_s Área superficial en m^2

(1) El valor de la carga superficial CS debe obtenerse en laboratorio o pruebas de campo y cuyo valor tendrá relación con un valor de eficiencia remocional deseable o la máxima turbiedad admisible por las unidades de filtración (razonable hasta 10 UNT).

(2) El valor V_{sc} es comparable con la carga convencional superficial de diseño que para flóculos de sulfato de aluminio es de 14 – 22 m/d.

a) Longitud de sedimentación:

$$L_s = \frac{A}{b}$$

Donde:
- L_s Longitud de sedimentación en m
- A Área superficial en m^2
- b Ancho del sedimentador en m; asumido por el proyectista en función al ancho de placas.

b) Número de placas por módulo:

$$N = \frac{L_s Sen\theta + d}{d + e}$$

Donde:
- N Número de placas por módulo
- L_s Longitud de sedimentación en m
- θ Ángulo de inclinación de las placas en (º)
- d Separación entre placas en m
- e Espesor de las placas en m

9.4 PRODUCCIÓN DE LODOS

(1) La producción de lodos se debe determinar a partir de valores obtenidos en campo o laboratorio que señalen la concentración volumétrica C de las partículas floculentas por litro de agua en ml / l.

(2) El cálculo del volumen de lodos y el volumen de la cámara de lodos se realizará de manera similar al **CAPÍTULO 4** inciso **4.4** (Presedimentadores).

(3) Se diseñarán las estructuras de entrada y salida de acuerdo a los criterios señalados en **CAPÍTULO 4** inciso **4.4** (Presedimentadores).

9.5 FLOTACIÓN

(1) El proceso de flotación por aire disuelto a presión se aplicará para el tratamiento de las aguas ricas en materias nutrientes y que contengan espesas floraciones de algas, aguas de baja turbidez, baja alcalinidad y coloreadas, difíciles de tratar por sedimentación ya que el floculo producido por el tratamiento químico, tiene baja velocidad de sedimentación.

(2) El proceso de flotación se llevará a cabo en tanques específicamente diseñados para efectuar la flotación por aire disuelto. Véase la **Figura 3** del **Anexo I.**

(3) Para tratamiento de agua potable, se requiere la etapa de prefloculación antes de la flotación, lo que permitirá una fácil remoción del flóculo y necesitad pequeña de área o espacio en planta.

9.5.1 Parámetros de diseño

Los principales parámetros de diseño son: La profundidad del tanque, la tasa de rebose, la inclinación de los bafles, el área de los tanques y el tiempo de retención.

9.5.2 Dimensionamiento

a) Profundidad del tanque: 1.5 m

b) Tasa de rebose: 8 a 12 m/h (depende del agua tratada)

c) Inclinación del baffle: 60 º (con la horizontal)

d) Área de tanques: mayores a 80 m^2 (operacionales)

e) Tiempo de retención: 5 a 15 minutos (depende de la carga superficial y la profundidad del tanque).

(1) El tanque de flotación debe estar cubierto como medida de protección contra lluvias, vientos y congelamiento de la superficie, evitándose de ésta manera la rotura y deterioro del floc en la superficie.

(2) El agua debe conducirse vía compuerta de anchura total, para mantener condiciones hidráulicas uniformes, para minimizar los cambios de nivel del agua a causa de variaciones de flujo en la planta.

CAPÍTULO 10
UNIDADES DE FILTRACIÓN EN LECHO GRANULAR

10.1. DEFINICIÓN

(1) Proceso de remoción del material en suspensión, llevado a cabo en medios porosos tales como arena, antracita, granate, ilmenita u otros, a diferentes velocidades.

(2) Las partículas pueden estar presentes en el agua de origen (cruda) o pueden generarse durante los procesos de tratamiento (arcillas, microorganismos; bacterias virus, quistes protozoarios, coloides, precipitados húmicos, precipitados de aluminio o hierro provenientes de la coagulación, precipitados de cal, precipitados de hierro y manganeso).

10.2 FILTROS RÁPIDOS DE VELOCIDAD CONSTANTE

(1) Son unidades que pueden ser de lecho filtrante simple o doble, de flujo ascendente o descendente, siendo los de flujo ascendente siempre de lecho simple. La filtración descendente es constante debido al dispositivo y sistema de control de salida. Véase la **Figura 1** del **Anexo J.** El lavado se realiza con agua filtrada en contra corriente que proveniente de un tanque alto o de un tanque cisterna a través de un sistema de bombeo.

10.2.1 Parámetros de diseño

a) Tasa de filtración

(1) El valor de la tasa de filtración debe ser obtenido de laboratorio mediante ensayos en columna de filtración que permitan verificar las eficiencias remocionales de los parámetros que se desean tratar a partir de la variación de alturas de lecho, combinación de material granular, granulometrías y alturas de sobrenadante. Al disponer de columnas de ensayo o filtros piloto la tasa a adoptarse será:

Tasa de filtración V_f: 120 - 600 m^3/m^2d

(2) De no ser posible acceder a ensayos de columna de filtración o filtros piloto, las tasas máximas de filtración serán:

i) Para filtro con medio simple (arena): 180 m^3/m^2d

ii) Para filtro con medio dual (arena y antracita): 360 m^3/m^2d

10.2.2 Dimensionamiento

a) Número de filtros

(1) El número y tamaño de las unidades está en función del caudal a tratar. Las unidades serán diseñadas para la capacidad requerida al final del periodo de diseño. Esta aproximación permite la provisión de unidades de mayor tamaño y en menor número, incidiendo sobre los costos de construcción operación y mantenimiento.

b) Área de filtración requerida

$$A_T = \frac{Q}{V_f}$$

Donde:
- A_T Área total de filtración requerida en m^2
- Q Caudal de diseño en m^3/h
- V_f Tasa de filtración en m^3/m^2 h

c) Número de unidades

$$N = \sqrt{\frac{A_T}{3}}$$

Donde:
- N Número de filtros necesarios al final del periodo de diseño
- A_T Área total de filtración requerida en m^2

d) Unidades para una fase o etapa de proyecto

$$N_E = \frac{N}{n}$$

Donde:
- N_E Número de filtros necesarios en la etapa o fase
- N Número de filtros necesarios al final del periodo de diseño
- n Número de fases o etapas del proyecto

e) Total de unidades para una fase o etapa de proyecto

$$N_T = N_E + F_L + F_M$$

Donde:
- N_T Número total de unidades para una etapa o fase
- N_E Número de filtros necesarios en la etapa
- F_L Un filtro adicional (fuera de servicio por lavado)
- F_M Un filtro adicional (fuera de servicio por mantenimiento)

(1) En la primera etapa de construcción deben existir por lo menos dos unidades filtrantes, siendo deseable un mínimo de tres.

f) Área de cada filtro

$$A_F = \frac{A_T}{n * N_T}$$

Donde:
- A_F Área de cada filtro en m^2
- A_T Área total de filtración requerida en m^2
- N_T Número total de unidades para una etapa o fase
- n Número de fases o etapas del proyecto

(1) En instalaciones con área filtrante total de 4 m^2 se admite la existencia de una sola unidad.

g) Dimensiones

$$L = \left[\frac{2 * N_T * A_F}{N_T + 1}\right]^{1/2}$$

$$B = \left[\frac{(N_T + 1) * A_F}{2 * N_T}\right]^{1/2} \quad ; \quad \frac{L}{B} = 1{,}2$$

Donde: L Longitud del filtro en m
B Ancho del filtro en m

h) Estructuras de entrada y salida en filtros rápidos

(1) Los dispositivos de ingreso y salida de los filtros rápidos se diseñarán de manera que las variaciones de caudal no afecten la tasa de filtración, siendo necesario colocar dispositivos hidráulicos como los mostrados en la **Figura 2** del **Anexo J**.

(2) La **Figura 3** del **Anexo J** muestra otra disposición de los elementos hidráulicos de entrada y salida para lograr tasas constantes.

i) Fondo Falso

(1) Es la placa o losa que cubre la cámara de agua en la parte inferior del filtro donde se fijan elementos distribuidores (elementos perforados, boquillas). La altura de la cámara no será menor a 0,45 m.

j) Sistema de drenaje

(1) Es el sistema que recolecta, extrae el agua filtrada, distribuyéndola uniformemente en el proceso de filtración y el proceso de lavado de los filtros. Eventualmente distribuye el aire, cuando éste se combina con el agua de lavado.

k) Tipos de drenaje

k1) Tuberías perforadas para trabajo con grava.

(1) Comprende una tubería matriz con tubos laterales perforados. Superficie total de orificios 0,2% a 0,33% del área filtrante. Diámetros de cada orificio entre 6,5 y 15,8 mm a distancias entre 7,5 y 25 cm unos de otros. La distancia entre laterales es de 20 cm a 30 cm centro a centro y las perforaciones formarán 60 grados entre si en la parte inferior del lateral.

(2) La altura de los tubos sobre el fondo debe ser 3,5 cm. La relación de longitud de los laterales y su diámetro no debe exceder de 60. La **Tabla 1** muestra los diámetros requeridos para determinadas longitudes de laterales.

Tabla 1. Longitudes y diámetros de tuberías laterales

Longitud de laterales (m)	Diámetro (pulgadas)
1	2
1.5	2 ½
2	3
2.5	3

k2) Tuberías perforadas para trabajo con bloques y grava (Fondo Wagner)

(1) Los bloques Wagner reemplazan la grava gruesa (2" a ¾"). Este sistema no se usará para lavado con aire.

k3) Boquillas

(1) Se usan para lavados con aire y agua. La distancia entre boquillas de distribución puede variar de 0,10 a 0,30 m de distancia de acuerdo a la pérdida de carga. Se colocarán 10 a 50 unidades/m^2

k4) Fondo Weeler

(1) Fondo con depresiones tronco piramidales, provistas de esperas de porcelana de 1 ½" de diámetro. Las losas podrán ser prefabricadas o monolíticas in situ, utilizable para lavado con alta tasa y no para lavado con aire. Las losas se colocarán sobre soportes de concreto a una altura de 10 a 50 cm del fondo del filtro.

k5) Fondo Leopold

(1) Constituido por bloques cerámicos o plásticos. Todas las filas de bloques se orientarán a un conducto central de repartición. El bloque cerámico se usará para lavado de alta tasa con agua. El bloque plástico se utilizará para el lavado de alta tasa con agua y aire.

k6) Fondos prefabricados

(1) Materializados en concreto reforzado en forma de "V" invertida "Teepee - type", atravesados por segmentos de tubo o niples plásticos de ¼" a ¾ ", colocados cada 10 a 20 cm centro a centro. Véase la **Figura 4** del **Anexo J**.

l) Capa Soporte

(1) Denominada también capa de grava y que se encuentra directamente sobre los distribuidores u orificios de distribución. Sirve de soporte al lecho filtrante y distribuye el agua de lavado.

(2) El tipo y tamaño de lecho de grava depende del sistema de drenaje que se use. Para drenajes con orificios menores a 1 mm (boquillas) no se usa grava sino arena "torpedo"de 4 mm de diámetro. Para drenajes con orificios entre 1 – 5 mm (Leopold) se usan 20 - 30 cm de grava distribuidos de acuerdo a los valores mostrados en la **Tabla 2.**

Tabla 2. Espesores y diámetros de la grava soporte

Espesor de la capa (cm)	Espesor acumulado (cm)		Diámetro (pulgadas)
5	5		¾ a 1/2
5	10		½ a1/4
5	15		¼ a1/8
5	20		1/8 a Nº 10
5		25	1/8 a ¼
5		30	¼ a1/2

Nº 10 corresponde al tamiz 10 U.S.

(3) La capa soporte de grava para lechos filtrantes mixtos (medio dual) será de 20 a 45 cm con gravillas soporte que tengan tamaños de 2,4 mm (3/32 pulgadas) en el contacto y gravas convencionales en la parte inferior.

m) Medio filtrante

(1) Corresponde al material granular (arena, antracita, granate, ilmenita, carbón magnetita u otros) que retienen los flóculos no sedimentables.

(2) La arena para filtros rápidos estará compuesta de material silicio con dureza de 7 en las escala de Moh (1 al 10) y peso específico no menor a 2, libre de materia orgánica y no mas de 1 % podrá ser material laminar o micáceo.

(3) La solubilidad en ácido clorhídrico al 40% durante 24 horas debe ser menor al 5 % y la pérdida por ignición menor a 0,7% en peso.

(4) La antracita debe tener una dureza de 2,7 ó mayor en la escala de Moh y su peso específico no menor a 1,40. El contenido de carbón libre no debe ser menor del 85 % en peso.

(5) La solubilidad en ácido clorhídrico al 40% durante 24 horas debe ser menor al 5 % y no más del 2 % debe perderse en una solución al 1% de Na OH. El máximo porcentaje de partículas planas debe ser del 30% en peso.

n) Coeficiente de uniformidad (arena)

$$Cu = 1,5 \text{ a } 1,7$$

o) Altura del lecho y tamaño efectivo

(1) La altura de lecho convencional de arena podrá ser (0,60 a 0,75 m), cuando el tamaño efectivo sea de 0,45 a 0,55 mm. La altura de lecho profundo podrá ser (0,9 a 1,8 m), cuando el tamaño efectivo sea de 0,90 a 1,20 mm.

(2) Para lechos mixtos (arena – antracita); si la arena tiene tamaño efectivo de 0,45 a 0,55 mm, la altura de lecho será 0,20 a 0,40 m; si la antracita tiene tamaño efectivo de 0,90 a 1,40 mm, la altura de lecho será de 0,30 a 0,55 m.

p) Granulometría

(1) Se debe utilizar arenas finas cuando el pretratamiento es deficiente y es necesaria la remoción de turbiedad y bacterias.

(2) Se debe utilizar arenas gruesas cuando el pretratamiento es deficiente, pudiendo optarse filtros de lecho profundo.

(3) Se debe utilizar arena media cuando existan características intermedias.

(4) La **Tabla 3** muestra los porcentajes retenidos en los tamices para el preparado de arenas finas medias y gruesas.

Tabla 3. Arena para filtros de tasa constante.

Abertura tamiz (mm)	Porcentaje arena retenida (%)		
	Fina	Media	Gruesa
0.30	97 - 100	99 - 100	100 - 100
0.42	75 - 94	94 - 98	99 - 96
0.69	27 - 69	61 - 86	69 - 70
0.84	3 - 29	16 - 51	29 - 32
0.17	0 - 6	1 - 16	7 - 0
T.E (mm)	0.35 - 0.45	0.45 - 0.55	0.55 - 0.65

T.E. = Tamaño Efectivo

(5) Se debe utilizar antracitas con tamaños efectivos entre 0,6 y 1,4 mm. Cuando se emplea como lecho único los tamaños efectivos serán de 0,6 a 0,8 mm. Cuando se emplea en los lechos múltiples los tamaños serán entre 0,8 y 1,4 mm.

q) Coeficiente de uniformidad (antracita)

$$Cu = 1,0 – 1,40$$

r) Pérdida de carga máxima en los filtros

(1) Convencionalmente los filtros se diseñan para energías disponibles de filtración de 2 a 3 m. En filtros sin controladores las pérdidas de carga no deben exceder los 2 m.

s) Altura de agua sobre el lecho (sobrenadante)

(1) El nivel de agua sobre el lecho filtrante o de salida del filtro debe ser establecido de modo que se elimine la posibilidad de tener presiones en el lecho inferiores a la atmosférica.

(2) La altura de agua sobre el lecho debe ser mínima de 0,9 m y máxima de 1,60 m.

t) Lavado del filtro

(1) El lavado del filtro se hará cuando la pérdida de carga sea igual a la presión estática sobre el fondo del lecho o la calidad del efluente desmejore en términos de turbiedad.

(2) Para la limpieza de los filtros se requiere de agua para el lavado en contracorriente (flujo ascendente), lo cual se consigue mediante una bomba, o un tanque elevado cuya cota sea suficiente para garantizar el lavado. El tiempo de lavado será de 3 a 15 minutos.

u) Tasa de lavado

(1) Los valores de la tasa de lavado serán de 60 cm/ min (36 m/h) -120 cm/min (72 m/h). En caso de filtros de flujo ascendente, la velocidad mínima de lavado debe ser de 80 cm/min y un tiempo de lavado de 15 min.

v) Expansión del lecho

(1) El caudal de agua de lavado en contracorriente debe producir un porcentaje de expansión del lecho filtrante de 20 al 30 %.

(2) El caudal de agua de lavado debe ser previamente ajustado en cada filtro por un elemento diferencial de presión, que puede ser una válvula.

(3) En plantas con capacidades menores a 10 000 m^3/d, la agitación del lecho podrá ser manual con un rastrillo o un chorro de agua a tiempo de lavar el filtro.

(4) En plantas con capacidad mayor a los 10 000 m^3/d, la agitación del lecho podrá ser hidráulica en la camada superficial del filtro o mediante la introducción de aire comprimido desde el fondo.

w) Altura de los filtros

(1) Está definida por la altura de seguridad (revancha), la altura de agua (sobrenadante), altura del lecho de arena, altura del lecho de grava y la altura del sistema de drenaje. La **Tabla 4** muestra los valores mínimo y máximo de las alturas consideradas.

Tabla 4. Alturas máximas y mínimas

Altura	Mínima (m)	Máxima (m)
Altura de seguridad	0,30	0,50
Altura de agua	0,90	1,60
Altura de arena	0,60** (0.90)***	0,75** (1,80)***
Altura de grava	0,20	0,45
Altura del sistema de drenaje*	0,70	0,80
Altura total	2,70 (3,0)***	4,10 (5,15)***

* Drenaje del tipo “V” invertida
** Para filtros de lecho convencional
( ) *** Para filtros de lecho profundo

x) Reservorio de agua de lavado

(1) El agua de lavado debe estar en un reservorio con capacidad mínima para el lavado de 2 filtros.

(2) El dimensionamiento del reservorio estará en función al tiempo de lavado (mínimo 10 min) y la velocidad de 60 cm/min.

(3) Se admite la reutilización del agua de lavado previo sometimiento a pre sedimentación y cloración intensa.

y) Funcionamiento de los filtros

(1) El funcionamiento de los filtros debe ser controlado por los siguientes elementos:

a) Entrada del agua en el filtro a través de compuertas y válvulas.

b) Salida del agua filtrada a través de válvulas, cuando su función sea solamente de apertura y cierre.

c) Entrada de agua de lavado superficial a través de válvulas con dispositivo de apertura lenta.

d) Entrada de agua para lavado superficial a través de válvula, en el caso que haya control de caudal.

e) Entrada de aire para agitación a través de válvula de esfera o de diafragma.

f) Salida de agua de lavado a través de compuertas, válvulas mariposa, de compuerta o cualquier dispositivo de regulación.

z) Operación de los filtros

(1) La operación de los filtros debe ser controlada por medio de los siguientes elementos:

a) Dispositivos para la medición de la pérdida de carga.

b) Medidor de caudal a la salida de los filtros.

c) Sistema de muestreo a la salida de cada filtro para determinar la turbidez.

aa) Interconexión de las unidades de filtración

(1) La interconexión podrá realizarse mediante conductos a presión o conductos libres.

(2) Los conductos con sección menor a 0,50 m^2 deben ser premoldeados de sección circular, salvo cuando una unidad o proceso exige un conducto de sección diferente a la circular.

(3) Los conductos libres o canales pueden tener una sección que mejor se adapte a os procesos a los cuales están vinculados.

(4) Los canales de agua tratada deben estar cubiertos e impermeabilizados.

(5) En los canales cubiertos deben existir inspecciones (accesos para limpieza y mantenimiento), así como en los elementos internos de los canales que exijan mantenimiento.

(6) Toda inspección debe cerrarse con tapas sanitariamente seguras.

(7) Los canales no cubiertos deben ser dispuestos de manera que impidan la entrada de agentes perjudiciales a la calidad del agua transportada.

bb) Dispositivos de cierre de conductos

(1) Para el cierre de de canales y sus derivaciones, se pueden usar compuertas montadas en guías, compuertas libres, compuertas segmentadas, válvulas mariposa o de compuerta.

CAPÍTULO 11
FILTROS RÁPIDOS DE CONTROL HIDRÁULICO Y TASA DECLINANTE

11.1 DEFINICIÓN

(1) Son unidades que reciben el efluente de los sedimentadores, en los cuales la filtración vertical descendente va disminuyendo paulatinamente debido a la colmatación del lecho filtrante que es cuando se efectúa el lavado en contracorriente con el agua de los otros filtros de la batería.

(2) Estas unidades se conceptúan como tecnología apropiada apta para países en desarrollo. Son más económicos que los rápidos de tasa constante puesto que no requieren de equipos, galería de tubos, tanque elevado o estación de bombeo para el lavado y su eficiencia está de acuerdo al grado de colmatación del medio filtrante.

11.2 FILTROS RÁPIDOS DE CONTROL HIDRÁULICO Y TASA DECLINANTE

(1) Son unidades construidas sobre tanques de sección rectangular en cuyo interior se acomoda el sistema de drenaje de agua filtrada y distribución de agua de lavado, la capa soporte, la capa filtrante y una altura conveniente de agua. Véase la **Figura 1** del **Anexo K**.

(2) Los canales de evacuación de agua de lavado, son laterales, aunque también se pueden usar canaletas centrales.

(3) Son filtros en los cuales se reduce al mínimo el equipo mecánico, puesto que el lavado se realiza con el agua de los otros filtros.

11.2.1 Funcionamiento de las unidades

(1) Con el objeto de hacer el lavado posible, el flujo producido por toda la planta debe ser por lo menos igual o mayor que el que se requiere para el lavado de una unidad.

(2) Debe haber un mínimo de 4 unidades que puedan operar con una carga superficial no menor de 240 m^3/m^2-d, para producir una velocidad ascendente mínima de 0,60 m/min. Esto no puede hacerse sino solamente utilizando lechos de arena y antracita, ya que los lechos de arena sola, por lo general, no pueden trabajar con tan altas velocidades como las que se requieren en éste caso.

(3) El sistema de entrada debe ser capaz de transportar el flujo que requiera una unidad en cualquier momento con un mínimo de pérdida de carga y las compuertas de entrada de dicho flujo deben quedar siempre debajo del nivel de equilibrio que se establece en los filtros de comienzo de las carreras.

(4) Debe ser posible aislar cada unidad, cuando sea necesario, sin restringir la libre circulación del agua de lavado entre las otras unidades filtrantes que están conectadas al mismo múltiple.

(5) Evitar el vaciado de la caja de filtros, colocando el vertedero de rebose entre 0,60 m y 1,40 m por encima de la cresta del vertedero de lavado, evitando que el filtro quede seco al comienzo de la carrera.

(6) Evitar estructuras demasiado profundas, que resultan ser antieconómicas. Se recomienda tener profundidades que varían desde 3,6 m hasta 5,50 m (menores profundidades para unidades de pequeña capacidad).

(7) Evitar estructuras bajas que produzcan cortas carreras de filtración.

(8) Evitar velocidades altas de filtración al comienzo de la carrera. La relación entre el caudal promedio y el caudal máximo (Q prom /Q max) debe ser igual a 2, ello permite disminuir las pérdidas de carga turbulentas en el efluente de los filtros, lo que permite bajar la altura de los filtros.

11.2.2 Parámetros de diseño

(1) Se diseñarán para caudales superiores a los 100 l/s (plantas medianas a grandes).

a) Tasa de filtración

(1) La tasa de diseño debe ser obtenida de pruebas de laboratorio o de filtros piloto. La **Tabla 1** proporciona las tasas de filtración según la calidad del agua que ingresa a las unidades y los tipos de lecho (único y doble).

Tabla 1.Tasas de filtración

Filtración rápida descendente con tasa declinante	Tasa de filtración (m^3/m^2-d)
De agua decantada en medio filtrante único de arena con espesor inferior a 0,8 m.	150 - 239 (med) 240 - 300 (máx)
De agua floculada o prefloculada en medio filtrante único con espesor superior a 1,0 m y uso de polímero como auxiliar	240 - 359 (med) 360 - 600 (máx)
De agua decantada en medio filtrante doble, con espesor total inferior a 0,80 m.	240 - 359 (med) 360 - 600 (máx)

b) Tasa de lavado

(1) Cuando el lavado es sólo con agua:

Tasa de lavado sólo con agua: 0,7 m/min – 1,0 m/min.
Tiempo de lavado: 6 a 9 min.

(2) La velocidad de lavado se establece gradualmente, produciendo una expansión promedio de 25 a 30 %.

(3) Cuando el lavado se efectúa con agua y aire:

Tasa de lavado con agua: 25 – 35 (m^3/h-m^2)
Tiempo de lavado: 3 a 5 min

Tasa de lavado con aire: 17 – 29 (m^3/h-m^2)
Tiempo de lavado: 2 a 5 min

11.2.3 Estructuras de entrada y salida en filtros rápidos

(1) La entrada del agua al filtro se puede realizar por medio de tubería; una superior que recoge el agua sedimentada proveniente de los sedimentadores y otro debajo que recolecta los desagües durante la operación del lavado. La **Figura 2** del **Anexo K** muestra el detalle de estas estructuras.

(2) La **Figura 3** del **Anexo K** muestra el detalle de diferentes estructuras de salida

11.2.4 Drenaje de fondo

(1) Se utilizan viguetas en forma de "V" invertida de 0,30 m de base y 0,20 a 0,25 m de altura, apoyadas en sus extremos con orificios de tubos o niples de PVC de 10 a 20 mm de diámetro colocados cada 10 a 20 cm, de centro a centro. Recomendable 56 unidades por metro cuadrado.

(2) Se puede utilizar fondos falsos pre-fabricados y boquillas distribuidoras.

11.2.5 Capa soporte

(1) La capa soporte debe tener la siguiente granulometría. Véase la **Tabla 2** donde se especifica la altura de cada capa y el diámetro efectivo.

Tabla 2. Granulometría de la capa soporte

Granulometría de la capa soporte.	
Altura de cada capa (mm)	**Diámetro (mm)**
75	2,4 - 4,8
75	4,8 - 12,6
75	12,7 - 19,0
75	19,1 - 38,0
100	38,1 - 50,0

11.2.6 Capa filtrante

(1) En éstos filtros se recomienda dos medios filtrantes, 60% de la altura ocupa el material de menor densidad (antracita o granate) y 40% del material de mayor densidad (arena).

(2) Si la altura media de la capa filtrante es de 75 cm, corresponde a la antracita 45 cm y a la arena 30 cm. La **Tabla 3** muestra las características de los medios filtrantes.

Tabla 3. Valores admisibles en lechos filtrantes múltiples

Propiedades físicas	Antracita	Granate o Ilmenita	Arena
Densidad (gr/m^3)	1,40 - 1,6	3,80 - 4,90	3,80 - 4,90
Tamaño efectivo (mm)	0,80 - 1,40	0,15 - 0,20	0,15 - 0,20
Coeficiente de uniformidad	1,00 - 1,40	1,35 - 1,40	1,35 - 1,40

11.2.7 Altura de agua

(1) La altura mínima total del agua es 3,90 m para lograr la presión necesaria de lavado, y la altura mínima del vertedor de agua de lavado 1,30 m.

11.2.8 Lavado de los filtros

(1) Mediante una apertura y cierre adecuado de válvulas, el lavado de un filtro se debe realizar con el agua de los otros filtros.

11.2.9 Altura del filtro de tasa declinante

(1) La altura total de los filtros se debe determinar en función a las alturas parciales del fondo falso, capa soporte, altura de lecho de arena (arena y antracita), altura de agua mínima y máxima y altura de seguridad. La **Tabla 4** muestra los valores de cada altura.

Tabla 4. Altura del filtro de tasa declinante

.

Descripción	Altura (m)
Altura de fondo falso	0,50 - 0,50
Altura capa soporte (incluyendo viguetas)	0,50 - 0,50
Altura de arena	0,30 - 0,35
Altura de antracita	0,45 - 0,50
Altura mínima de agua (sobre el nivel de arena)	1,25 - 1,35
Altura máxima de agua (sobre el nivel mínimo)	1,60 - 1,70
Altura de seguridad	0,40 - 0,40
Altura total	**5,0 - 5,30**

CAPÍTULO 12
FILTROS DE FLUJO ASCENDENTE DESCENDENTE

12.1 DEFINICIÓN

(1) Son unidades dobles para filtración de aguas, consiste en unidades conectadas en serie unas ascendentes y otras descendentes. El filtro ascendente con lechos profundos y gruesos sirve como método de pretratamiento para el filtro descendente.

(2) Esta unidad es requerida cuando existe una concentración de coliformes totales mayor a 10 000 NMP/100 ml, u otros tipos de microorganismos.

(3) Para una buena eficiencia de éstos filtros, la turbiedad del agua cruda debe ser de 50 a 160 UNT y el color no debe exceder de 80 U.C.

(4) Cuando el agua cruda presente temporalmente, turbidez, o color elevado (superior a 200 UT, ó 100 UC respectivamente) o aún si la concentración de algas fuese superior a 1 000 mg/m^3, se pueden utilizar estos filtros.

12.2. FILTROS DE FLUJO ASCENDENTE - DESCENDENTE

(1) Son unidades dispuestas en tanques rectangulares gemelos en cuyo interior se colocan los distribuidores, el medio filtrante y una altura de agua variable de un filtro a otro. Véase **Figura 1** del **Anexo L.**

(2) El filtro de flujo ascendente retiene los sólidos sedimentables y flóculos grandes, en tanto que el filtro de flujo descendente realiza un afinado o complementación de la filtración.

(3) El lecho filtrante puede ser sólo de grava y arena aunque también se puede utilizar dos medios filtrantes, si se desean periodos más largos de filtración.

(4) El filtro de flujo ascendente, debe producir un efluente con turbidez y color inferiores a 5 UNT y 10 UC respectivamente para que no ocurra una colmatación rápida del filtro de flujo descendente.

12.2.1 Parámetros de diseño

a) Tasa de filtración

(1) Los valores de las tasas aplicables a éstas unidades deben ser obtenidas de pruebas de laboratorio o de plantas piloto.

(2) La **Tabla 1** proporciona valores referenciales de las tasas de filtración y lavado, para las unidades ascendente y descendente.

Tabla 1.**Tasa de filtración y lavado.**

Tasas	Filtro Ascendente	Filtro Descendente
Filtración (m^3/h-m^2)	12 - 16	5 - 10
Lavado (m^3/h-m^2)	4 - 18	36 - 48

12.2.2 Estructuras de entrada y salida

(1) Deben tener las características de los dispositivos de entrada de los filtros rápidos. Véase **11.2.3.**

12.2.3 Drenaje de fondo

(1) Se puede utilizar los dispositivos especificados para filtros rápidos. Véase **11.2.4.**

(2) El fondo falso puede ser losa fabricada o prefabricada con orificios de 1,5 mm convenientemente distribuidos. También puede utilizarse cualquiera de los tipos de fondo falso descritos en el **capitulo 10.**

12.2.4 Capa soporte

(1) En el filtro ascendente se coloca como capa soporte grava con un tamaño efectivo de 0,35 mm y cuyo diámetro varía de 10 a 60 mm y una altura de 50 cm.

(2) El filtro de flujo descendente puede tener la misma granulometría de la capa soporte de los filtros rápidos descendente de tasa constante.

12.2.5 Capa filtrante

(1) Considerando las características del medio filtrante, para cada filtro se tendrán los valores mostrados en la **Tabla 2.**

Tabla 2. **Características del medio filtrante**

Características	Filtro ascendente	Filtro descendente.
Espesor de la capa (m)	1,20 - 1,50	0,60 - 0,80
Tamaño efectivo (mm)	0,90 - 1,20	0,45 - 0,55
Tamaño mayor (mm)	2,0 -2,40	1,41
Tamaño menor (mm)	0,70	0,42
Coeficiente de uniformidad	≤ 1,8	≤ 1,6
Coeficiente de esfericidad	≥ 0,7	≥ 0,7

(2) La capa filtrante en el filtro ascendente debe ser de arena gruesa, distribuida en tres capas, cada una de 40 a 50 cm.

12.2.6 Altura de agua

(1) La altura de agua en el filtro ascendente sobre el nivel del lecho filtrante debe ser 0,90 m con una sobre elevación o revancha de 0,30 m.

(2) La altura de agua en el filtro descendente puede ser de 1,65 m con una sobre elevación o revancha de 0,30 m.

12.2.7 Lavado de los filtros

(1) Ambas unidades se encuentran comunicadas entre si por medio de una o más tuberías de interconexión. El agua de lavado en ambos filtros se debe evacuar mediante tuberías debidamente dimensionadas a un canal de descarga de lavado.

(2) El retrolavado de ambas unidades debe efectuarse simultáneamente, con agua de un tanque elevado situado a una cota tal que permita el lavado eficiente.

12.2.8 Altura de filtros

(1) La altura total de los filtros, se debe calcular en base a las alturas parciales del fondo falso, capa soporte, lecho filtrante, altura de agua y la sobre elevación. La **Tabla 3** muestra los valores característicos.

Tabla 3. Altura total de filtros

Filtros de flujo		
Altura de los filtros	**Ascendente (m)**	**Descendente (m)**
Altura de fondo falso	0,30	0,30
Altura de la capa soporte	0,50	0,40
Altura del lecho filtrante.	0,90	0,60
Altura de agua	0,90	1,30
Sobre elevación o revancha	0,30	0,30
Altura total	**2,90**	**2,90**

CAPÍTULO 13
PLANTAS DE TRATAMIENTO SIN USO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS
FILTRACIÓN EN MULTIPLES ETAPAS FiME

13.1 DEFINICIÓN

(1) La filtración en múltiples etapas satisface el concepto de multibarrera o de múltiples etapas y lleva a cabo el tratamiento de las aguas sin uso de sustancias químicas para la coagulación, quedando exento el proceso final de desinfección, llevada a cabo a través de la filtración lenta y la desinfección química de seguridad (aplicación de niveles bajos de cloración) para obtener aguas aptas para consumo.

(2) Principalmente está conformada por unidades de filtración. Comprende los procesos de desarenación, presedimentación, sedimentación, filtración gruesa dinámica, filtración gruesa de flujo horizontal, filtración gruesa de flujo vertical, filtración lenta y desinfección, como opciones las cuales, el proyectista elegirá de acuerdo a las características de la calidad del agua, ámbitos del proyecto y al concepto de sostenibilidad en el tiempo.

(3) La combinación de las etapas de filtración gruesa y filtración lenta en arena se denomina filtración en múltiples etapas FiME.

13.2 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES

(1) La Filtración Múltiple Etapa FiME puede estar conformada por dos o tres componentes o etapas principales de filtración, dependiendo del nivel de contaminación de la fuente. La opción de tres componentes, Filtración Gruesa Dinámica FGDi, Filtración Gruesa FG y Filtración Lenta en Arena FLA. La FG puede obviarse con fuentes de buena calidad. La FGDi se orienta a la reducción de sólidos suspendidos (remoción de partículas más grandes). A medida que el agua avanza en las siguientes etapas se prioriza la remoción de partículas más pequeñas y microorganismos.

13.2.1 Filtros Gruesos Dinámicos (FGDi)

(1) Incluyen una capa de grava fina en la parte superior y otra más gruesa en contacto con el sistema de drenaje en el fondo. El agua pasa sobre la grava y parte de ella es captada a través del lecho, pasando a la próxima fase de tratamiento. Su obstrucción por los sólidos recibidos será gradual y ante cambios bruscos la colmatación será más rápida y en tal caso el flujo no filtrado escurrirá sobre el lecho colmatado y retornará a la fuente protegiendo de ésta manera las etapas de tratamiento más difíciles de operar y mantener.

(2) Los componentes de los filtros gruesos Dinámicos son:

a) Cámara de filtración.
b) Lechos filtrantes y de soporte.
c) Estructuras de entrada y salida.
d) Sistema de drenaje y cámara de lavado.
e) Accesorios de regulación y control.

13.2.2 Filtros Gruesos (FG)

(1) De acuerdo con el sentido de flujo en los lechos de grava puede ser de tipo ascendente **(FGA)** y descendente **(FGD)** u horizontal (**FGH)**

a) Filtro Grueso Ascendente (FGA)

(1) Consiste en un compartimiento donde se ubica un lecho filtrante; el cual disminuye de tamaño con la dirección del flujo, un sistema de drenaje ubicado en el fondo de la estructura que sirve para distribuir el flujo durante la carrera de filtración o para drenar los lechos de grava durante las actividades de limpieza hidráulica, con base a descargas frecuentes de lodo. Según la longitud y distribución de las capas de grava se distinguen dos alternativas: La filtración Gruesa Ascendente en Capas **(FAGC)** cuando los lechos de grava son instalados en una misma unidad o estructura y la Filtración Gruesa Ascendente **(FGAS)** en Serie, cuando los lechos de grava son instalados es dos o tres unidades de filtración, cada una conteniendo un tamaño predominante de grava, que decrece en le sentido del flujo.

b) Filtros Gruesos de Flujo Descendente en Serie (FGDS)

(1) Constan de tres compartimientos con gravas que van de gruesas a finas en el sentido del flujo.

c) Filtros Gruesos de Flujo Horizontal (FGH)

(1) Las Unidades consisten de uno o varios módulos que conforman tres compartimientos separados por una pared perforada. Su operación y mantenimiento son exigentes por lo que se dispone de una variante; el Filtro Grueso Horizontal en Serie **(FGHS.)**

13.2.3 Filtro Lento en arena (FLA)

(1) La estructura de una unidad de filtración lenta en arena FLA consiste en un tanque con un lecho de arena fina colocada sobre una camada de grava que constituye el medio soporte y de transición. En el fondo del filtro se encuentra el sistema de drenaje constituido por ladrillos o bloques de concreto poroso.

13.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

(1) La selección del sistema de tratamiento se basa en la interrelación de los parámetros: turbiedad (UNT), color verdadero (UCV) y la concentración de Coliformes Termorresistentes (UFC/ 100 ml) presentes en las aguas crudas. La **Tabla 1** muestra los criterios de selección.

Tabla 1. Criterios para la selección del sistema de tratamiento del agua por Filtración en Múltiples Etapas FiME [(1)]

Coliformes Termorresistentes (UFC/100 ml)	**Turbiedad (UNT)**	**< 10**	**10 - 20**	**20 - 50**	**50 - 70[(2)]**
	Color Real (UC)	**< 20**	**20 - 30**	**30 - 40**	**30 - 40[(2)]**
< 500		Sin FGA **(B)[(3)]**	$FGAC_{(0,6)}$ **(M)**	$FGAC_{(0,45)}$ **(A)**	$FGAS3_{(0,30)}$ **(A)**
500 – 10 000		$FGAC_{(0,6)}$ **(M)**	$FGAC_{(0,6)}$ **(M)**	$FGAC_{(0,45)}$ **(A)**	$FGAS3_{(0,3)}$ **(A)**
10 000 – 20 000 [(2)]		$FGAC_{(0,6)}$ **(A)**	$FGAC_{(0,45)}$ **(A)**	$FGAC_{(0,45)}$ **(A)**	$FGAS3_{(0,3)}$ **(A)**

FGA: Filtración Gruesa Ascendente
FGAC: Filtración Gruesa Ascendente en Capas
FGAS3: Filtración Gruesa en Serie de 3 etapas

(1) Todas las opciones de pretratamiento inclusive aquella sin FGA, incluye dentro de sus componentes de tratamiento, FGDi con velocidad de filtración 2,0 m/h y FLA con velocidad 0,15 m/h. (El Subíndice del pretratamiento indica la velocidad de filtración recomendada en m/h).

(2) Para valores superiores a 70 UNT; 20 000 UFC/100 ml o 40 UC, se recomienda realizar estudio en planta piloto.

(3) Clasificación de fuentes según rango de calidad (concentraciones):
(B)Baja; (M) Media; (A) Alta

Fuente: Cinara (1999)

13.4 FILTRACION GRUESA DINÁMICA (FGDi)

13.4.1 Descripción General

(1) Este sistema consiste básicamente de dos o más módulos operados paralelamente con flujo descendente donde cada unidad es empacada con lechos de grava de tamaño variable en el rango de grueso en el fondo y a fino en la superficie, véase **Figura 1** de **Anexo M.**

13.4.2 Componentes principales del FGDi

(1) El Filtro Grueso Dinámico esta compuesto de:

a) Cámara de filtración.
b) Lechos filtrantes y de soporte.
c) Estructuras de entrada y salida.
d) Sistema de drenaje y cámara de lavado.
e) Tuberías y accesorios de regulación y control.

a) Cámara de filtración

(1) Es la zona donde se realiza el proceso de tratamiento, normalmente la altura total del filtro es de 0,70 m, con paredes verticales construidas en mampostería o concreto reforzado.

b) Lechos filtrantes y de soporte

(1) El medio filtrante está conformado por tres capas de grava con tamaños que varían entre 3,0 mm y 25,0 mm. La grava de fondo como la intermedia funcionan como lechos de soporte, el tamaño de la grava del lecho de soporte, varía según el tamaño de la grava superficial y del diámetro de los orificios del múltiple recolector.

c) Estructuras de entrada y salida

(1) Esta estructura debe incluir elementos que permitan la disipación de energía, el control, la medición y distribución de flujo y el vertimiento de excesos.

d) Sistemas de recolección y drenaje y cámara de lavado

(1) Normalmente éstos sistemas de recolección y drenaje consisten de tuberías y accesorios de PVC que forman tanto los colectores laterales como el colector principal.

(2) Para facilitar la limpieza hidráulica del filtro se recomienda instalar una válvula de apertura rápida en la tubería de recolección y drenaje.

e) Tuberías de accesorios de regulación y control

(1) Estos tipos de accesorios de regulación utilizados en la filtración Gruesa Dinámica, se encuentran las válvulas para regulación de caudal, válvulas para desagüe y válvulas de apertura rápida para drenaje de filtros grueso. Las válvulas de apertura rápida pueden ser tipo mariposa.

13.4.3 Parámetros de diseño

(1) Los parámetros recomendados por Cinara – IRC, toman como base su trabajo a nivel de planta piloto. Se señala conservar la estratificación propuesta en la **Tabla 2**, la cual indica las guías de diseño para filtros gruesos dinámicos.

Tabla 2. Guías de diseño para Filtros Gruesos Dinámicos

Criterio	Valores recomendados
Período de diseño (años)	8 – 12
Período de operación (h/d) (*)	24
Velocidad de filtración (m/h)	2 – 3
Número mínimo de unidades en paralelo	2
Área de filtración por unidad (m^2)	< 10
Velocidad superficial del flujo durante el lavado superficial (m/s)	0,15 – 0,3
Lecho filtrante:	
- Longitud (m)	0,6
- Tamaño de gravas (mm)	Según **Tabla 3**
Altura de vertedero de rebose (m) (**)	0,03 – 0,05

(*) En estaciones de bombeo de agua con periodos de operación inferiores a 24 h/d, se recomienda proyectar un almacenamiento de agua cruda, a partir del cual se suministre agua de manera continua al FGDi y demás componentes del FiME.

(**) Medidos a partir del lecho superficial de grava fina.

(2) Se recomienda áreas superficiales entre 3,0 m^2 y 5,0 m^2 y profundidades entre 0,20 m y 0,40 m., siendo que sus dimensiones deben ser tales que faciliten el desplazamiento y maniobrabilidad del operador.

Tabla 3. **Especificaciones del lecho filtrante recomendado para Filtros Gruesos Dinámicos.**

Posición en la unidad	Espesor de la capa (m)	Tamaño de grava (mm)
Superior	0,20	3,0 - 6,0
Intermedio	0,20	6,0 - 13,0
Inferior, Fondo	0,20	13,0 - 25,0

13.4.4 Eficiencia de Remoción

(1) Está orientado a reducir la concentración de material suspendido, como la remoción de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos. Véase **la Tabla 4** en la cual se establecen los parámetros y la reducción típica para filtros gruesos dinámicos.

Tabla 4. Eficiencia remocional

Parámetro	Reducción típica
Sólidos Suspendidos	Entre el 70 y el 80 %, con fuentes en el rango de 10 a 200 mg/l.
Turbiedad	Entre 30 y el 50 % en fuentes de zona plana. En fuentes de ladera, la remoción fue aproximada al 50%. La eficiencia de remoción es afectada por la naturaleza, tamaño y distribución de las partículas.
Color Real	Entre 10 y 25 %, con fuentes en el rango entre 15 y 20 UPC.
Hierro, Manganeso	Entre 40 y 70 % como hierro total y entre el 40 y 60 % para manganeso.
Coliformes Termorresistentes	Entre 50 y 80 %, para niveles de Coliformes Termorresistentes en el agua cruda en el rango 2 000 a 100 000 UFC/100 ml y sólidos suspendidos entre 10 y 50 mg/l.

13.4.5 Dimensionamiento

a) El área superficial de la unidad A_s en m^2:

$$A_s = \frac{Q_d}{V_f} = b * l \qquad A_s \langle \quad 10 m^2 \text{ por cada módulo}$$

Donde:
- A_S Área superficial en m^2
- Q_d Caudal de diseño en m^3/h
- V_f Velocidad de filtración seleccionada en m/h
- b Ancho en m
- l Largo en m

b) El ancho de la unidad es un parámetro que depende de la velocidad superficial Vs que varía entre 0,15 m/s (cuando predominan limos y material orgánico) y superiores a 0,2 m/s (cuando predominan arenas y arcillas).

c) Se calculará el largo en m, por la siguiente relación.

$$l = \frac{A_s}{b}$$

Donde:
- l Largo en m
- A_s Área superficial en m^2
- b Ancho en m

13.5 FILTRACIÓN GRUESA ASCENDENTE (FGA)

13.5.1 Descripción General

(1) Es un sistema conformado por una sola unidad, Filtración Gruesa Ascendente en Capas (FGAC), ésta es empacada con lechos de grava de diferente tamaño en el rango de gruesa en el fondo, a fina en la superficie. Véase **Figura 2** de **Anexo M.**

(2) Este sistema tiene como ventaja favorecer en la acumulación de sólidos en el fondo del filtro, donde se encuentra localizado el sistema de drenaje.

13.5.2 Componentes principales del Filtro Grueso Ascendente en Serie (FGAS)

(1) Un Filtro Grueso Ascendente está compuesto de:

a) Cámaras de filtración con 1, 2 ó 3 compartimientos.
b) Lecho filtrante.
c) Estructuras de entrada y salida.
d) Sistema de drenaje y cámara de lavado.
e) Accesorios de regulación y control.
f) Dispositivos para la limpieza superficial.

a) Cámaras de filtración

(1) La altura total del filtro está determinada por la altura del lecho de grava, normalmente ésta altura está entre el rango de 1,1 a 1,5 m. Se debe construir con concreto reforzado.

b) Lechos filtrantes y de soporte

(1) Consiste de 5 capas de grava con tamaños diferentes, variando entre 25 y 1,6 mm en la dirección del flujo y distribuidas en 1,2 ó 3 compartimentos.

(2) La capa de grava de 0,20 a 0,40 m en contacto con el sistema de drenaje, constituyen el lecho de soporte.

c) Estructuras de entrada y salida

(1) Esta estructura tiene por objeto disipar energía, controlar, medir y eliminar excesos de caudal. Está conformada por un canal pequeño que conduce el agua previamente acondicionada hasta la cámara de entrada a los filtros gruesos; es recomendable fijar sobre la pared vertical del canal de acceso y antes del vertedor una rejilla de aforo.

d) Sistemas de drenaje y cámara de lavado

(1) Este sistema se diseña para que cumpla dos propósitos: distribuir uniformemente el flujo en el área filtrante y recolectar el agua de lavado. Este sistema debe se proyectarse en tubería de PVC con orificios. Se recomienda la instalación de una válvula de apertura rápida en la tubería de drenaje.

(2) Las válvulas de apertura rápida se ubican en las cámaras de lavado las cuales se construyen de manera individual o colectiva, donde varias válvulas desaguan a un punto común.

(3) La carga de lavado cuyo valor mínimo de diseño no debe ser inferior a 20 $m^3/m^2/h$, la descarga de la tubería de drenaje, debe ubicarse a una altura mínima de 1,80 m por debajo de la losa de fondo del filtro grueso.

e) Accesorios de regulación y control

(1) Estos tipos de accesorios de regulación utilizados en la filtración Gruesa Ascendente, incluyen válvulas para la regulación de caudal, vertederos de aforo y rejillas de aforo.

f) Dispositivos para la limpieza superficial

(1) En las paredes verticales perimetrales a una distancia de 0,02 m a 0,05 m por encima del nivel más superficial de la grava se instalarán canaletas de recolección de las aguas de lavado durante la limpieza manual superficial del lecho de grava. Se contará con un mínimo de 2 canaletas por cada muro perimetral. Los diámetros de las tuberías de drenaje serán de 50 mm para áreas de filtración menores a 15 m^2 y de 100 mm para áreas hasta de 20 m^2.

(2) Las aguas serán transportadas y descargadas al sistema de drenaje general de la planta o a la cámara de lavado.

13.5.3 Parámetros de diseño

(1) Los criterios recomendados por Cinara – IRC, están basados en la experiencia con unidades experimentales y plantas a escala real. La **Tabla 5** contiene los criterios, los cuales son guías de diseño para filtros gruesos ascendentes.

Tabla 5. Guías de diseño para Filtros Gruesos Ascendentes

Criterio	Valores recomendados
Período de diseño (años)	8 – 12
Período de operación (h/d) (*)	24
Velocidad de filtración (m/h)	0,3 – 0,6
Número mínimo de unidades en serie - FGAC - FGAS	 1 2 – 3
Área de filtración por unidad (m^2)	< 20
Lecho filtrante:	
Longitud total (m) - FGAC - FGAS	 0,6 – 0,90 1,15 – 2,35
Tamaño (mm)	Según **Tabla 6**
Lecho de soporte total - Longitud (m) - Tamaño (mm)	 0,30 – 1,25 Según **Tabla 6**
Altura del sobrenadante de agua (m)	0,10 – 0,20
Carga estática mínima de agua para lavado en contra flujo (m)	3,0

Tabla 6. Lecho filtrante recomendado para Filtros Gruesos Ascendentes

Tamaño de grava (mm)	Altura (m)					
	FGAC	FGAS 2		FGAS3		
		1	2	1	2	3
19 - 25	0,30*	0,30*	-	0,30*	0,20*	-
13 - 19	0,20 - 0,30	0,30 - 0,45	0,20*	0,15	0,15*	0,15*
6 - 13	0,15 - 0,20	0,30 - 0,45	0,15*	0,45 , 0,75	0,15*	0,15*
3 - 6	0,15 - 0,20	-	0,30 - 0,45	-	0,40 -0,70	0,15*
1,6 - 3	0,10 - 0,20	-	0,25 - 0,40	-	-	0,45 - 0,75
Total (m)						
Soporte	0,30	0,30	0,35	0,30	0,50	0,45
Lecho Filtrante	0,60 - 0,90	0,60 - 0,90	0,55 - 0,85	0,60 - 0,90	0,40 - 0,70	0,45 - 0,75

* Lecho soporte

13.5.4 Eficiencia de Remoción

(1) Los filtros gruesos de flujo ascendente constituyen la segunda etapa de tratamiento, orientada a minimizar el número de partículas gruesas y a disminuir la concentración de las más pequeñas. Véase **la tabla 7** en la cual se establecen los parámetros y la reducción típica para estos filtros.

Tabla 7. Eficiencias típicas de tratamiento por Filtros Gruesos Ascendentes

Parámetro	Reducción típica
Sólidos Suspendidos	Alcanza hasta el 95%; 90 % es el valor comúnmente reportado en fuentes con altos contenidos de materia suspendido (50 a 200 mg/l), en fuentes con material suspendido en el rango entre 5 50 mg/l, se reporta remociones del 50 al 90 %
Turbiedad	Entre 50 y 80 % en fuentes superficiales de valle, siendo mayores para los FGAS en fuentes superficiales de ladera la remoción esta en el rango de 50 y 90 %
Color Real	Entre 20 y 50 %
Hierro, Manganeso	Alrededor del 50 %
Coliformes Termorresistentes	Reducciones entre 0.65 y 2.5 unidades Log siendo mayor para FGAS, tratando con contaminación bacteriológica de 20 000 a 100 000 UFC/100 ml y contenidos de sólidos suspendidos entre 20 y 200 mg/l. La menor eficiencia se presentó con fuentes de calidad bacteriológica entre 500 y 20 000 UFC/100 ml

13.6 FILTRACIÓN GRUESA DESCENDENTE (FGD)

(1) Corresponde a una serie de 3 compartimientos, cuyos parámetros y valores recomendados se encuentran en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Guías de diseño para Filtros Gruesos Descendentes

Parámetro	Valores recomendados
Período de operación	24 h/d
Velocidad de filtración	0,3 - 1,0 m/h
Velocidad de drenaje	20 m/h
Altura del medio filtrante	0,9 - 1,2 m (máximo 1,5 m)
Pérdida de carga inicial	0,1 m (con filtro limpio)
Pérdida de carga final	0,3 m, (máxima)
Medio filtrante grueso	25 - 19 mm; primer compartimiento 19 - 13 mm: segundo compartimiento 13 - 4 mm ; tercer compartimiento 2 mm; aguas con material coloidal y niveles de contaminación bacteriológica

Fuente: Sandec (1998)

13.6.1 Eficiencia de remoción

(1) Experiencias de campo muestran eficiencias similares a la de los filtros ascendentes.

13.7 FILTRACIÓN GRUESA HORIZONTAL (FGH)

(1) Las unidades pueden construirse con 2 o 3 compartimientos de lecho granular de mayor a menor gradación en dirección longitudinal. Los parámetros y valores recomendados para su diseño se encuentran en la **Tabla 9.**

Tabla 9. Guías de diseño para Filtros Gruesos Horizontales en Serie

Parámetro	Valores recomendados
Período de operación	24 h/d
Velocidad de filtración	0,3 - 1,5 m/h
Velocidad de drenaje	20 m/h (mínimo)
Altura del medio filtrante	0,8 - 1,2 m
Pérdida de carga inicial	5 - 7 m (con filtro limpio)
Pérdida de carga final	0,3 m, (máxima)
Medio filtrante grueso	25 - 19 mm; primer compartimiento 19 - 13 mm: segundo compartimiento 13 - 4 mm ; tercer compartimiento

Fuente: Sandec (1998)

13.7.1 Eficiencia de remoción

(1) La eficiencia remocional de un Filtro Grueso Horizontal depende del nivel de operación y mantenimiento dado a la unidad. La reducción de turbiedad puede variar desde un 70 % hasta un 95%. La eficiencia remocional en términos de Escherichia Coli puede alcanzar hasta un 95 %.

13.8 FILTRACION LENTA EN ARENA (FLA)

13.8.1 Descripción General

(1) Son unidades de baja velocidad de filtración que no requieren sustancias químicas y permiten reducir virus, bacterias, protozoarios o huevos de nemátodos dañinos para la salud pública. Se reduce materia fina orgánica e inorgánica, la cual es retenida en el lecho de arena. Compuestos orgánicos disueltos son más o menos degradados, dependiendo de su naturaleza.

(2) Los componentes básicos de un filtro lento en arena con control de entrada, son:

A Dispositivo para controlar la entrada de agua pretratada y regular la velocidad de filtración.
B Dispositivo para drenar la capa de agua sobrenadante.
C Conexión para drenar el lecho filtrante con agua limpia producida por otras unidades de filtración (FLA).
D Válvula para drenar lecho filtrante.
E Válvula para desechar agua tratada.
F Válvula para suministrar agua tratada al tanque de contacto y posteriormente al depósito de agua limpia.
G Vertedero de entrada.
H Indicador calibrado de flujo.
I Vertedero de salida.
J Válvula para control de flujo a la salida (solo para FLA con control de salida).
K Cámara de entrada al FLA.
L Ventana de acceso a FLA.

(3) La **Figura 1** del **Anexo N** detalla los componentes básicos del filtro lento.

13.8.2 Componentes principales del FLA

(1) Un Filtro Lento en Arena FLA, consta de los siguientes elementos:

a) Caja de filtración y su estructura de entrada.
b) Lecho filtrante.
c) Capa de agua sobrenadante.
d) Sistema de drenaje, que incluye lecho de soporte y cámara de salida.
e) Conjunto de dispositivos para regulación, control y rebose de flujo.

a) Caja de filtración y estructuras de entrada

(1) La altura total del FLA puede oscilar entre 1,80 m y 2,10 m, dependiendo del espesor de la capa de arena, la altura sobrenadante y del sistema de drenaje empleado. La altura del sistema de drenaje esta alrededor de 0,25 m y puede alcanzar hasta 0,50 m.

(2) La estructura de entrada (cámara de entrada), debe permitir el control del caudal afluente, disipar energía, distribuir flujo y verter excesos.

(3) En la cámara de 0,8 x 0,8 m y 1,0 m de profundidad; la velocidad de paso del agua a través de la ventana debe ser inferior a 0,10 m/s.

b) Lecho filtrante

(1) La granulometría es un factor importante en el rendimiento del filtro. La adecuada selección de arena incluye entre otros los siguientes factores:

i) Tamaño de los granos se determina con base en el diámetro efectivo, d_{10}, y su distribución granulométrica, por el coeficiente de uniformidad C_u. El d_{10} es la abertura del tamiz a través del cual pasa el 10% (en peso) de los granos.

ii) El C_u es igual a la relación d_{60}/d_{10}. Se recomienda arena relativamente fina con diámetro efectivo entre 0,15 y 0,30 mm y coeficiente de uniformidad menor de 5 y preferiblemente entre 2,0 y 4,0.

c) Capa de agua sobrenadante

(1) En un filtro con control a la entrada, la carga inicial es cercana a 0,05 m, valor que gradualmente se incrementa hasta alcanzar el nivel máximo, oscilando entre 0,60 y 0,80 m.

d) Sistema de drenaje y cámara de salida

(1) El sistema de drenaje cumplirá tres funciones:

i) Soportar el material filtrante e impedir su arrastre a través del lecho de grava y dispositivos de colección y transporte.

ii) Asegurar la recolección uniforme del agua filtrada en toda el área de filtración.

iii) Permitir el llenado ascendente de los FLA y la distribución uniforme del agua de llenado, bien sea durante el arranque inicial ó después del raspado de cualquier módulo de filtración.

iv) El sistema de drenaje consta de un dren principal y sus conductos laterales que podrán ser: tuberías perforadas, tuberías corrugadas, ladrillo sobre ladrillo, losas prefabricadas.

v) Un lecho de grava debe constituirse en la interfase de la arena fina y los orificios de recolección de las tuberías, así como una capa de arena gruesa.

d_1) Capas de grava

Espesor: 0,10 – 0,15 m
Tamaño efectivo: 9 – 19 mm

Espesor: 0,05 m
Tamaño efectivo: 2 – 9 mm

d_2) Capa de arena gruesa

Espesor: 0,05 m
Tamaño efectivo: 0,15 – 0,30 mm

(2) La **Figura 2** del **Anexo N**, muestra el detalle del medio soporte y la tubería de drenaje.

e) Conjunto de dispositivos para regulación, control y rebose de flujo

(1) En la cámara de salida se debe proyectar uno o varios vertederos que permitan aforar el efluente y mantener el nivel de agua por encima del nivel máximo de arena. Véase la **Figura 3** del **Anexo N.**

13.8.3 Calidad de Agua

(1) El agua a ser tratada por FLA debe tener la mejor calidad, con bajos niveles de turbiedad, color, metales pesados, sustancias tóxicas. El agua tratada debe cumplir con lo especificado en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable - Requisitos).

13.8.4 Consideraciones de diseño

(1) El FLA debe garantizar el paso lento del agua a través del lecho de arena a razón de 0,1 a 0,3 m^3/m^2-h. La velocidad no debe variar significativamente, por lo que el caudal a filtrar puede ser controlado a la salida o a la entrada. La **Figura 4** del **Anexo N**, muestra las opciones de las unidades con control a la salida y a la entrada respectivamente.

(2) El sobrenadante, tendrá una profundidad máxima del orden de 0,75 m.

(3) El FLA opera usualmente con velocidades cercanas a 0,15 m/h, pudiendo sobrecargase hasta 0,2 ó 0,3 m/h, solo durante períodos cortos.

a) Parámetros de diseño

Existen diferentes criterios de diseño en base a la experiencia de autores y países. Véase **Tabla 10.**

Tabla 10. Criterios de diseño recomendados por autores y países

Criterio de diseño	Recomendación			
	Huisman and Wood (1974)	Ten States Standards (1987)	Visscher et al. USA (1987)	Cinara, IRC (1997) Colombia
Período de diseño (años)	n.e.	n.e.	10 - 15	8 – 12
Período de operación (h/d)	24	n.e.	24	24
Velocidad de filtración (m/h)	0,1-0,4	0,08-0,24	0,1-0,2	0,1-0,3
Altura de arena (m) Inicial Mínima	 1,2 0,7	 0,8 n.e.	 0,9 0,5	 0,8 0,5
Diámetro efectivo (mm)	0,15-0,30	0,15-0,35	0,30-0,45	0,15-0,30
Coeficiente de uniformidad Aceptable Deseable	 <3 <2	 ≤2.5 n.e.	 <5 <3	 <4 <2
Altura del lecho de soporte incluye drenaje (m)	n.e.	0,4-0,6	0,3-0,5	0,25
Altura de agua sobrenadante (m)	1-1,5	0,9	1	0,75 (*)
Borde libre (m)	0,2-0,3	n.e.	0,1	0,1
Área superficial máxima por módulo (m^2)	n.e.	n.e.	<200	<100

(*) Con desarrollo exponencial en la pérdida de carga en estudios a nivel piloto
n.e.: no especificado.

13.8.5 Determinación del número de módulos de filtración

$$n = 0,5 * \sqrt[3]{A}$$

Donde:
- n Número total de unidades rectangulares operando en paralelo.
- A Área superficial total en m^2

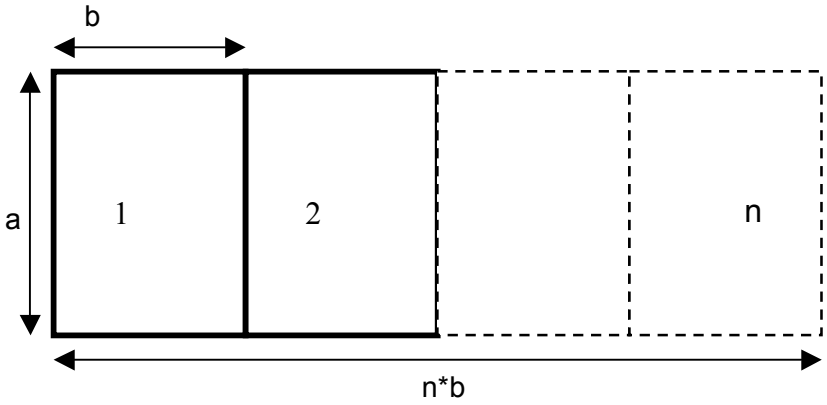
13.8.6 Dimensionamiento de módulos de filtración

$$Lt_p = 2 * n[\partial A]^{0.5}$$

Donde:
- Lt_p Longitud total de pared en m
- n Número total de unidades de filtración
- A Área superficial de cada unidad en m^2
- □ Número Pi = 3,1416

$$Lt_p = 2 * b * n + a * (n + 1)$$

Donde:
- Lt_p Longitud total de pared en m
- n Número total de unidades de filtración
- b Ancho de la unidad en m
- a Longitud de pared común por unidad en m



$$a = \left(\frac{2 * n * A}{n + 1} \right)^{0.5} \qquad b = \left[\frac{(n + 1) * A}{2 * n} \right]^{0,5}$$

Donde:
- a Longitud de pared común por unidad en m
- A Área superficial total en m^2
- n Número total de unidades de filtración
- b Ancho de la unidad en m

$$L_m = 2 * a * (n + 1) = 2 * \left[2 * n * A * (n + 1) \right]^{0.5}$$

Donde:
- L_m Longitud total mínima de pared en m
- a Longitud de pared por unidad en m
- n Número de unidades
- A Área superficial total en m^2

Podrán optarse diferentes formas geométricas, basado en consideraciones topográficas, geomecánicas y disponibilidades de terreno.

CAPÍTULO 14
GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS/LÍQUIDOS Y GASEOSOS DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA

14.1 DEFINICIÓN

(1) La gestión de los residuos sólidos/líquidos (lodos) provenientes de las plantas potabilizadoras está referida a la producción, almacenamiento, tratamiento, transporte y disposición final.

(2) La gestión de los residuos de las plantas corresponde al almacenamiento, tratamiento, transporte y disposición final en forma apropiada y segura. En los proyectos de diseño, ampliación y mejoramiento de las plantas se deben manejar éstos componentes de forma integral.

(3) Los residuos de las plantas de tratamiento de agua corresponden a los residuos sólidos, líquidos y gaseosos y no deben manejarse independientemente al tratamiento de las aguas.

(4) La calidad, cantidad y características de los residuos sólidos/líquidos de las plantas están relacionados con la calidad y cantidad de las aguas y los insumos químicos que se apliquen en el proceso de tratamiento principal. En todo caso se caracterizarán los lodos y se determinarán las cantidades lo que permitirá determinar el tratamiento y disposición final adecuados.

14.2 RESIDUOS SÓLIDOS/LÍQUIDOS (LODOS) EN PLANTAS POTABILIZADORAS

(1) Corresponden a las arenas, sedimentos, lodos de aluminio o alúmina, hierro, polímetros, de cal y residuos de hierro y manganeso, producidos a partir del tratamiento de las aguas con coagulantes, polímetros y cal, así como los polvos provenientes de la manipulación y derrame de las sustancias químicas sólidas.

(2) Se deben caracterizar los lodos a partir de pruebas de laboratorio, una vez producidos los mismos, a partir de mediciones directas realizadas en la planta existente, la prueba de jarras, conos Inhoff o probetas graduadas que determinaran la cantidad de lodos y la determinación de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que proporcionará la calidad de los mismos.

(3) Para proyectos nuevos, se deben obtener los parámetros de los lodos (calidad y cantidad) a partir de pruebas de laboratorio (prueba de jarras), realizadas con las aguas a tratar, lo cual permitirá diseñar el sistema de acondicionamiento y tratamiento de los lodos.

14.2.1 Almacenamiento

(1) Los lodos sedimentados deben ser acumulados en compartimientos denominados “cámara de lodos”, disponibles en las unidades de tratamiento correspondientes (desarenadores, presedimentadores, sedimentadores, y tanques de almacenamiento de aguas de lavado de filtros), con tiempos de retención tales que no permitan la descomposición de los lodos, tornándolos anaerobios.

(2) En las unidades de floculación se deben disponer sistemas de drenaje de lodos y arenas.

(3) El proyectista de la planta potabilizadora de agua debe determinar los tiempos de retención de los lodos, según la cantidad generada y las características de operación que asigne a la planta.

(4) Los lodos, una vez acondicionados, deben ser dispuestos en sistemas de tratamiento que permitan su posterior transporte y disposición final.

14.2.2 Extracción de lodos

(1) Los lodos pueden evacuarse de dos formas:

a) En forma periódica

(1) Por llenado y vaciado de las unidades de sedimentación en periodos de 15 a 30 días, según la turbiedad del agua cruda. El volumen de la cámara de lodos será de un 10 % a un 20 % del volumen del tanque sedimentador y no menor al 50 % si el sedimentador fuese de placas.

(2) Se debe justificar un mayor periodo de tiempo entre llenado y vaciado según el tamaño de los sedimentadores, contenido orgánico de los lodos, los niveles de operación y disponibilidad de recursos humanos asignados para la limpieza, si ésta fuese manual, llegando a un máximo de 2 meses.

(3) Debe incluirse en el diseño del tanque sedimentador un sistema de tuberías que permita la conexión de mangueras de alta presión que provoquen el arrastre del lodo. La presión disponible en pitón de ellas debe estar entre 20 y 80 m.c.a.

(4) Se deben colocar las bocas de desagüe en la mitad del primer tercio de la zona de lodos, abriendo y cerrando periódicamente la válvula de drenaje a fin de disminuir la altura de los lodos acumulados en la cámara o en la zona de lodos.

b) En forma continua

(1) Se debe realizar por medios mecánicos a través de equipos (sistemas mecánicos con cadenas o puentes barrelodos), que empujarán el lodo a velocidades no mayores a 10 mm/s hacia la boca de salida, desde donde será extraído. También puede realizarse la evacuación del lodo con equipos que transportan por el fondo las bocas de salida para ir succionando el lodo. En éste caso el lodo permanecerá inmóvil y las bocas de salida serán las que se mueven.

(2) Se debe realizar por medios hidráulicos cuando se deje escurrir gravitacionalmente el lodo hasta las bocas de salida y de allí extraerlo. En éste caso el lodo se moverá por su propio peso y las bocas de salida estarán inmóviles. Se pueden aplicar en los sedimentadores de alta tasa (sedimentadores de placas).

(3) Se deben proyectar “cámaras de lodos” continuas a lo largo y ancho de la zona de sedimentación que dispongan de orificios para aspiración de lodos, tales que produzcan una velocidad mínima de arrastre en los puntos más alejados de 10 mm/s a 30 mm/s.

(4) Se deben proyectar “cámaras de lodos” separadas de sección troncocónica invertida a lo largo y ancho de la zona de sedimentación que dispongan de orificios para aspiración de lodos interconectados por una tubería múltiple y regulada por una válvula de desagüe. Se verificará que el flujo en cada orificio sea menor al 10 % del flujo total. La velocidad mínima de arrastre será de 10 mm/s.

14.2.3 Cantidad de residuos sólidos y líquidos generados

(1) La cantidad de residuos sólidos y líquidos generados del tratamiento de aguas en plantas convencionales está en función al caudal de la planta, la dosis de productos químicos, el rendimiento del proceso de tratamiento, los métodos de remoción de lodos, la eficiencia de la sedimentación y la frecuencia de retrolavado de las unidades de filtración. Su determinación permitirá planificar el tratamiento, manejo y disposición final.

(2) La cantidad de los residuos sólidos y líquidos generados en una planta potabilizadora existente se debe obtener a partir de la prueba de jarras para dosis optima de coagulante y alcalinizante (pH óptimo). La lectura del volumen de los (ml/l) del cono Inhoff después de una hora, multiplicada por el caudal a tratar proporcionará el volumen de lodo por unidad de tiempo.

(3) La cantidad de los residuos sólidos y líquidos que se generarán en una planta en diseño puede estimarse a partir de ecuaciones determinadas por Cornwell et.al., (1987), Cornwell y Koppers (1990) y AWWA (1996).

(4) La cantidad de lodo de alúmina producido en una planta de coagulación para la remoción de sólidos en suspensión se puede calcular de manera aproximada a través de la relación:

$$S = Q * (0{,}44 * Al + SS + A) * 10^{-3}$$

Donde:

- S Lodo producido en kg/d
- Q Caudal de la Planta en m^3/d
- Al Dosis de alúmina seca con 17,1 % de Al_2O_3, en mg/l
- SS Sólidos en suspensión en el agua cruda en mg/l
- A Otros aditivos en mg/l, añadidos como polímeros, arcilla o carbón activo en polvo en mg/l

Ejemplo de aplicación: Sea la dosis de 50 mg/l de alúmina, los sólidos suspendidos iguales a 100 mg/l y el caudal de la planta es de 100 l/s (8 640 m^3/d); no se adicionan otras sustancias.

La cantidad de lodo seco S será: 8 640 $(0{,}44*50 + 100)*10^{-3}$ = 1 054 kg / d
Suponiendo un lodo con contenido de sólidos del 2%, con densidad relativa del lodo húmedo igual a 1,01; la masa diaria de lodo será: 1 054 / 0,02 =52 700 kg / d.
El volumen diario de lodo será: 52 700 / 1 010 = 52,18 m^3/d
El % diario de lodo será: (52,18 / 8 640)*100 = 0,6 % (en volumen).

(5) La cantidad de lodo de hierro si se utilizan sales de hierro, a partir del Cloruro Férrico como coagulante producido en una planta de coagulación para la remoción de sólidos en suspensión se puede calcular de manera aproximada a través de la relación:

$$S = Q * (2{,}9 * Fe + b * TU) * 10^{-3} \quad ; \quad SS = b * TU$$

Donde:
- S Lodo producido en kg/d
- Q Caudal de la Planta en m^3/d
- Fe Dosis de cloruro férrico como Fe en mg/l
- SS Sólidos en suspensión en el agua cruda en mg/l
- b Constante de correlación (*) entre SS (ordenadas) y Turbiedad (TU) (abscisas) = 0,7 a 2,2

(*) Se establece necesario obtener datos de correlación en planta semanales para obtener los valores característicos de "b". Conocidas las variaciones estacionales, una correlación mensual será representativa. Para prediseño de plantas se puede optar b=1,40 como valor promedio en caso de no disponer de datos.

Ejemplo de aplicación: Sea la dosis de 11.5 mg/l de Cloruro Férrico; equivalente a 4 mg/l como Fe; (Peso molecular Fe/ peso molecular Cl_3Fe) * 11,5 = (56/161)*11,5; la Turbiedad del agua es de 10 NTU y el coeficiente de correlación "b" entre SS y TU es igual a 1,40.
El caudal de la planta es 100 l/s (8 640 m^3/d) y no se adicionan otras sustancias.

La cantidad de lodo seco S será: 8 640 $(2{,}90*4 + 1.4*10)*10^{-3}$ = 221,2 kg / d.
Suponiendo un lodo con contenido de sólidos del 1,5%, con densidad relativa del lodo húmedo igual a 1, 01, la masa diaria de lodo será: 221,2 / 0,015 = 14 746,7 kg / d.
El volumen diario de lodo será: 14 746,7 / 1 010 = 14,6 m^3/d
El % diario de lodo será: (14,6 / 8 640)*100 = 0,17 % (en volumen).

La cantidad de lodo de plantas que utilizan proceso de ablandamiento con o sin el uso de alúmina, hierro o polímeros se puede calcular de manera aproximada a través de la relación:

$$S = Q * (2{,}0 * Ca + 2{,}6 * Mg + 0{,}44 * Al + 2{,}9 * Fe + SS + A) * 10^{-3}$$

Donde:
- S Lodo producido en kg/d
- Q Caudal de la Planta en m^3/d
- Ca Dureza de Calcio remocionada como $CaCO_3$ en mg/l
- Mg Dureza de Magnesio remocionada como $Mg(OH)_2$ en mg/l
- Al Dosis de alúmina seca, con 17,1 % de Al_2O_3, en mg/l
- Fe Dosis de cloruro férrico como Fe en mg/l
- SS Sólidos en suspensión en el agua cruda en mg/l
- A Otros aditivos en mg/l, añadidos como polímeros, arcilla o carbón activo en polvo mg/l

14.2.4 Características de los lodos

(1) Los lodos de sales de aluminio y hierro presentan las características mostradas en la **Tabla 1** a continuación.

Tabla 1. Características de los lodos de sales de aluminio y hierro

Parámetro	Valor referencial
pH	6 – 8
DBO	30 mg/l – 300 mg/l
DQO	30 mg/l – 5 000 mg/l
Sólidos	1 % - 2 %
Color	Gris
Olor	Inodoro
Volumen	20 l / m^3– 50 l / m^3
Contenido bacterial	Bajo (variable)
Sedimentabilidad	50 % en 8 horas
Secado	2 días sobre lechos de arena para 10 % de sólidos

Fuente: Romero J. (2000); Purificación del Agua

(2) Los lodos provenientes del ablandamiento con cal pueden contener compuestos de hierro, aluminio, magnesio y calcio. **La Tabla 2** muestra sus características.

Tabla 2. Características de los lodos de ablandamiento por precipitación

Parámetro	Valor referencial
pH	8,4 - 11.
DBO	Bajo
DQO	Bajo
Sólidos	2 % - 15 %
Color	Blanco
Olor	Inodoro
Contenido bacterial	Bajo (variable)
Sedimentabilidad	50% en una semana
Secado	Lento en lagunas para 50% de sólidos

Fuente: Romero J. (2000); Purificación del Agua

(3) Las aguas provenientes del lavado de filtros tienen las características mostradas en la **Tabla 3.**

Tabla 3. Características de las aguas de lavado de filtros

Parámetro	Valor referencial
pH	6,9 – 7,8.
DBO	2 mg/l – 10 mg/l
DQO	28 mg/l – 160 mg/l
Sólidos suspendidos	0,01 % - 0,1 %
Color	Gris negruzco
Olor	Inodoro
Contenido bacterial	Alto (variable)
Sedimentabilidad	80 % en 2 a 24 horas
Secado	Requieren previa coagulación y sedimentación.

Fuente: Romero J. (2000); Purificación del Agua

14.2.5 Tratamiento

(1) El tratamiento de los lodos de las plantas potabilizadoras consistirá de los siguientes procesos:

a) Espesamiento de lodos

(1) El espesamiento por gravedad debe remover el exceso de agua mediante decantación y concentrar los sólidos por medio de la sedimentación. El agua decantada se debe recuperar y reciclar o disponer al alcantarillado o cuerpo receptor si su calidad lo permite.

(2) El espesador de lodos se debe diseñar con cargas hidráulicas superficiales de 18 m/d - 20 m/d para lodos de alúmina y permitirá obtener lodo con un 5% de sólidos. El volumen quedará reducido a 1/10 de su volumen original, al aumentar la concentración de sólidos de 0,5 % a 5%.

b) Secado de lodos

(1) El secado se produce por la deshidratación de los lodos, los cuales deben tener un contenido de sólidos mayor del 15 %. Para la deshidratación de los lodos se debe utilizar la fuerza de gravedad, la evaporación, el vacío, fuerza centrífuga, presión, la acción capilar o una combinación de estas. Esto se logra mediante lechos de secado de arena, lagunas, filtros de vacío y filtros prensa. El proyectista debe seleccionar el sistema de secado de lodos de acuerdo a los requerimientos del proyecto y a las facilidades en la operación y mantenimiento.

c) Lechos de secado de arena

(1) Se deben equipar con bases de arena, grava y con tuberías de drenaje. El drenaje debe descargar a un pozo de bombeo para recircular el agua drenada a la planta.

(2) Dependiendo de las condiciones climáticas, el periodo de secado puede oscilar entre unos días y varias semanas.

(3) Cuando se utilicen lechos de secado de arena se debe aplicar el lodo en capas de 15 cm a 30 cm.

(4) El número mínimo de lechos debe ser de 2 con drenaje cuya tubería perforada sea de 4 “, la capa de arena debe ser de 15 a 25 cm de espesor, con tamaño efectivo de 0,3 a 1,2 mm y lecho de grava de 20 a 30 cm de espesor. Las **Figuras 1,2** y **3** del **Anexo “O”** muestran lechos de secado característicos.

(5) El área de lecho requerida se debe determinar en base a la producción mensual de sólidos. Para lodos de coagulantes se debe considerar 50 a 150 kg/m^2 año, con cargas de lecho individuales de 5 a 20 kg/$m^{2.}$ Para lodos de cal se deben aplicar cargas individuales de 20 a 100 kg/m^2.

d) Lagunas de secado de lodos

(1) Corresponden a grandes estanques de sedimentación, sin efluente. En éste sistema el lodo húmedo se debe bombear a la laguna y se debe dejar sedimentar. Cuando la laguna se llene se sacará de servicio dejándola en reposo. Periódicamente se debe extraer el sobrenadante hasta obtener el lodo adecuado para su disposición final.

(2) Las características principales de este sistema de secado de lodos son:

Carga de sólidos: 40 - 80 kg/m^2 d
Carga de sólidos: 35 – 40 kg/ m^3 año
Profundidad: 1 – 2 m
Número de lagunas: mayor a 2

(3) Se debe extraer el lodo cuando tenga un contenido de sólidos del 25 % al 30%.

e) Filtros de vacío para secado de lodos

(1) El lodo se debe aplicar sobre una membrana permeable. El aire por debajo de la membrana y la presión atmosférica producen una diferencia de presión a través del lodo, obligando al agua a filtrarse.

(2) Los criterios de diseño de filtros de vacío son los mostrados en la **Tabla 4.**

Tabla 4. Criterios de diseño de filtros de vacío para el secado de lodos de alúmina y cal

Parámetro	Lodo de alúmina	Lodo de cal
Sólidos de lodo afluente (%)	1% - 6 %	5% - 30%
Carga hidráulica (m^3/m^2d)	2 - 5	2 - 5
Producción de sólidos (kg/m^2d)	85 - 150	470 - 2 350
Concentración de la pasta (%)	15 - 25	45 - 65
Velocidad del tambor (rpm)	0,2 - 0,5	0,2 - 0,5
Presión de operación de vacío mm Hg	250 - 650	250 - 650

f) Filtros prensa

(1) La prensa esta conformada por placas verticales, las cuales soportan un medio filtrante de tela y retienen la pasta (sólidos más agua).

(2) El proceso se debe llevar a cabo en forma discontinua (ciclos de tratamiento) con presiones a través del medio de filtración del orden de 17,57 kg/cm^2 (250 psi). Este sistema se debe emplear para obtener lodos con 40 % de sólidos.

(3) El lodo se dosificará dentro la prensa a presiones incrementales por espacio de media hora, formándose la pasta que se removerá al despresurizar el sistema.

(4) Las tasas de carga para lodos coagulantes deben ser del orden de 150 kg/mh (masa / ancho de cinta – tiempo). La **Figura 4** y **5** del **Anexo "O"** muestran un sistema de filtro prensa y un filtro prensa de correas.

g) Tratamiento sobre el suelo

(1) El lodo se debe regar o incorporar dentro de la capa superficial del suelo para la descomposición, estabilización e inmovilización de sus constituyentes. Una vez deshidratados, deben ser trasladados a sitios de disposición final (relleno sanitario).

(2) El lodo puede aplicarse a los suelos, áreas de minería abandonadas y como material de cobertura en rellenos sanitarios. Debe ser dispuesto en zonas alejadas a las captaciones de agua.

(3) Los lodos deben presentar las características físico – químicas y bacteriológicas iguales o menores a los valores de la **Tabla 5** para poder aplicarse a los suelos como alternativa de tratamiento.

Tabla 5. Características de lodos provenientes de la purificación de agua para el tratamiento sobre el suelo

Parámetro	Lodo de alúmina Prom. (rango)	Lodo de sales de Hierro (prom.- rango)	Lodo de ablandamiento con cal (prom.- rango)
Al % masa seca	21,2 (2,8 - 30)	1,6 - 7,7	0,45 (0,05 - 1,6)
Ca % masa seca	2,7 (0,3 - 5)	15	45 (31 - 52)
Fe % masa seca	3,2 (1,2 - 6,6)	1,9	0,29 (0,13 - 0,71)
K % masa seca	1,7 (0,04 - 5)	0,3	0,02 (0,01 - 0,08)
Mg % masa seca	0,45 (0,24 - 0.8)	1,6	2,1 (1,1 - 3,6)
Si % masa seca	20	N.D.	0,8 (0,4 - 11)
P % masa seca	0,35	0,36	0,02
pH	7,0 (5.1 - 8)	7,3 - 9,3	10,2 (8,4 - 11)
COT % masa seca	3,1 (0,85 - 6,5)	3,1 (0,85 - 6, 5)	N.D.
DBO_5 mg/l	45 (2 - 104)	N.D.	N.D.
DQO mg/l	500(100 -10 000)	N.D.	N.D.
N total (Kj) % masa seca	0,68 (0,44 - 1,0)	0,37 (0,05 - 0,55)	N.D.
E.C.C. %	15 (10 - 20)	20 (10 - 53)	93 (74 - 99)
COLIFORMES Número / g	<20	<20	N.D.

E.C.C.: Equivalencia con Carbonato de Calcio
N.D.: No disponible
Fuente: Romero J. (2000); Purificación del Agua

14.2.6 Disposición final de lodos

(1) La disposición final de los lodos se debe realizar en un relleno sanitario una vez se haya completado el ciclo del tratamiento.

(2) Los lodos se deben aplicar en los rellenos sanitarios cuando tengan concentraciones de sólidos mayores al 16% y presenten las características físico – químicas anotadas en **Tabla 1 y Tabla 2.**

(3) Las **Figuras 6** y **7** del **Anexo "O"** muestran los diagramas de flujo de métodos típicos de tratamiento y disposición de lodos.

14.2.7 Residuos líquidos

(1) Corresponden a los lixiviados provenientes de los lodos, una vez concluido el proceso de deshidratación los cuales deben ser almacenados, reciclados, acondicionados y tratados previo a su disposición final.

(2) Los lixiviados pueden ser reciclados, descargados al sistema de alcantarillado o a un cuerpo de agua receptor, observando los requisitos establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley del Medio Ambiente.

(3) Los residuos líquidos también corresponden a las aguas provenientes del lavado de las unidades, una vez removidos los lodos. De manera similar éstas aguas pueden ser recicladas o conducidas a un sistema de separación de sólidos y posteriormente reutilizadas en riego, dispuestas en el alcantarillado sanitario o ser vertidas en un cuerpo receptor si reúnen los requisitos para su descarga según lo establecido en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley del Medio Ambiente.

14.2.8 Residuos gaseosos

(1) Corresponden a los gases emanados a la atmósfera o a los ambientes de la planta, por efecto de los procesos de aireación (dióxido de carbono, amoniaco, gases disueltos en el agua, cloro u ozono) y otros que contenga el agua en forma natural o por la adición que se le proporcione durante el tratamiento. Tomando en cuenta las concentraciones y los daños que puedan ocasionar en términos de salud ocupacional y daños a la infraestructura, se deben prever ambientes ventilados y dotados de sistemas de seguridad industrial (máscaras e implementos de respuesta a posibles intoxicaciones), por efecto de malas operaciones o accidentes.

ANEXO “A”
EFECTIVIDAD GENERAL DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES SOLUBLES

ANEXO “B”
CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA SELECCIÓN DE LA FUENTE

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE TRATAMIENTO SEGÚN LA CALIDAD DEL AGUA CRUDA
PLANTAS CONVENCIONALES

ANEXO “C”
ANÁLISIS BÁSICOS RECOMENDABLES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA DESTINADAS A CONSUMO HUMANO EN POBLACIONES MENORES A 10 000 HABITANTES

VALORES MÁXIMOS ACEPTABLES POR LA NORMA BOLIVIANA NB 512 (AGUA POTABLE - REQUISITOS)

ANEXO “D”
GUÍA GENERAL DE PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS

GUÍA DE SELECCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO EN SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE MÚLTIPLES ETAPAS

ANEXO "A"
TABLA 1
EFECTIVIDAD GENERAL DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES SOLUBLES

Características	Aireación	Coagulación, sedimentación o filtración	Ablandamiento con cal	Oxidación química y desinfección	Carbón granular activado	Carbón pulverizado activo	Alúmina activada
Inorgánicos							
Antimonio *							
Arsénico (+3)		**XO**	**XO**				**X**
Arsénico (+5)		**X**	**X**				**X**
Bario			**X**				
Cadmio		**X**	**X**				
Cromo (+3)		**X**	**X**				
Cromo (+6) *							
Cianuro				**X**			
Fluoruro			**X**				**X**
Plomo *							
Mercurio (inorgánico)			**X**				
Níquel			**X**				
Nitrato-nitrito *							
Selenio (+4)		**X**					**X**
Selenio (+6)							**X**
Orgánicos							
Volátiles orgánicos	**X**				**X**		
Orgánicos sintéticos					**X**	**X**	
Pesticidas / herbicidas					**X**	**X**	
Carbono orgánico Disuelto		**X**			**X**	**X**	
Parámetros que causan problemas estéticos							
Dureza			**X**				
Hierro		**XO**	**X**				
Manganeso		**XO**	**X**				
Sólidos Totales Disueltos *							
Cloruro *							
Sulfato *							
Zinc			**X**				
Color		**X**		**X**	**X**	**X**	
Olor y Sabor	**X**			**X**	**X**	**X**	

X = Proceso apropiado para el parámetro.
XO = Proceso apropiado cuando se usa conjuntamente la oxidación.
* = Parámetros que para su remoción requieren procesos avanzados:
Procesos de membrana; (nanofiltración, osmosis inversa, electro diálisis inversa)
Intercambio iónico (aniónico - catiónico)

(Adaptado de: Guía para la Selección de Procesos de Tratamiento de Agua; AWWA 2002)

ANEXO "B"
CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA SELECCIÓN DE LA FUENTE

GRUPO I: Aguas que necesitan únicamente desinfección

1. Calidad bacteriológica

a) Densidad de coliformes totales. La media aritmética mensual debe ser menor que 100 por 100 ml de muestra.

b) Densidad de coliformes termorresistentes. Si se lleva a afecto la determinación de coliformes termorresistentes, la cifra de coliformes totales puede exceder de 100 por 100 ml de muestra, pero en tal caso los coliformes termorresistentes no deben exceder de 20 por 100 ml de muestra computados por la media aritmética mensual.

2. Calidad física

Debe cumplir con lo especificado en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos):

Parámetro	Valor máximo aceptable	Observaciones
Turbiedad	5 U.N.T	U.N.T. : Unidades Nefelométricas de Turbiedad
Color	15 U.C.V.	U.C.V.: Unidades de Color Verdadero (Platino – Cobalto)

3. Calidad química

Debe cumplir con lo especificado en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable - Requisitos). Deberá constatarse el contenido de sustancias tóxicas de origen inorgánico y orgánico, especialmente plaguicidas y plaguicidas totales.

4. Calidad radiológica

Debe cumplir con lo especificado en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos) – Radiactividad en el agua potable.

5. Tratamiento adicional

Si la calidad del agua no es "estable", durante todo el año, según lo especificado en numerales 1, 2, 3, y 4, se le debe dar un tratamiento adicional durante el periodo en el que la calidad se deteriora.

6. Parámetros complementarios de calidad

6.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5 (mg/l)

Promedio mensual: 0,75 – 1,5
Máximo diario: 1,0 – 3,0

6.2 Oxígeno Disuelto OD (mg/l)

Concentración: 4,0 (mínima)
Saturación: 75% o mayor
pH: 6,0 – 8,5

6.3 Cloruros (mg/l)

Concentración: < 250

GRUPO II: Aguas que necesitan tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración rápida y desinfección (postcloración) o filtración lenta y desinfección (postcloración).

1. Calidad bacteriológica

a) Densidad de coliformes totales. La media geométrica mensual debe ser menor que 3 000 por 100 ml de muestra.

b) Densidad de coliformes termorresistentes. Si se lleva a afecto la determinación de coliformes termorresistentes, la cifra de coliformes totales puede exceder de 3 000 por 100 ml de muestra, pero en tal caso los coliformes termorresistentes no deben exceder de 600 por 100 ml de muestra computados por la media geométrica mensual.

2. Calidad física

Parámetros tales como el color, turbiedad y olor contribuyen en forma significativa al tratamiento y potabilización del agua.

2.1. Color: No se fija un límite para el color natural; este puede ser removido mediante tratamiento convencional completo.

Se debe remover la mayor parte de color mediante coagulación a bajo pH. Luego de un tratamiento completo, el color real debe cumplir lo especificado en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos).

No se consideran los colores originados por efluentes industriales, los cuales serán considerados al determinar la calidad química del agua.

El color verdadero del agua tratada será:

Valor máximo aceptable: 15 U.C.V.

2.2. Turbiedad: La turbiedad debe permanecer en un rango tratable por medios convencionales. Cuando existen turbiedades altas, las plantas deben ser diseñadas a base de tanques presedimentadores, embalses o doble coagulación. En caso de utilizar filtros lentos los límites de turbiedad estarán en el orden de 20 U.N.T. o menos durante el 90 % del tiempo.

La turbiedad de agua tratada será:

Valor máximo aceptable: 5 U.N.T.

2.3. Olor y sabor: El olor del agua cruda será tratado a través de aireación como un método convencional. Deben ser aceptables por los usuarios.

3. Calidad química
El agua cruda debe cumplir con los límites recomendados en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos).

4. Calidad radiológica

Debe cumplir con lo especificado en la Norma Boliviana Agua Potable - Requisitos NB 512.

5. Parámetros complementarios de calidad

5.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5 (mg/l)

Promedio mensual: 1,51 – 2,5
Máximo diario: 3,1 – 4,0

5.2 Oxígeno Disuelto OD (mg/l)

Concentración: 4,0 (mínima)
Saturación: 60% o mayor
pH: 5,0 – 9,0

5.3 Cloruros (mg/l)

Concentración: < 250

GRUPO III: Aguas que necesitan tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración rápida y desinfección (pre y postcloración).

1. Calidad bacteriológica

a) Densidad de coliformes totales. La media geométrica mensual debe ser menor que 20 000 por 100 ml de muestra.

b) Densidad de coliformes Termorresistentes. El total de coliformes termorresistentes puede exceder de 20 000 por 100 ml de muestra, pero en tal caso los coliformes termorresistentes no deben exceder de 4 000 por 100 ml de muestra computados por la media geométrica mensual.

2. Calidad física

Debe cumplir con los mismos requisitos del Grupo I - 2

3. Calidad química

Debe cumplir con los mismos requisitos del Grupo I - 3

4. Calidad radiológica

Debe cumplir con lo especificado en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable- Requisitos)

5. Parámetros complementarios de calidad

5.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5 (mg/l)

Promedio mensual: mayor a 2,5
Máximo diario: mayor a 4,0

5.2 Oxígeno Disuelto OD (mg/l)

Concentración: 4,0 (mínima)
Saturación: menor al 60%
pH: 3,8 – 10,5

5.3 Cloruros (mg/l)

Concentración: mayor a 250 (*)

(*) Las concentraciones elevadas de cloruro hacen que el agua y las bebidas tengan sabor desagradable. Los umbrales de sabor dependen del catión asociado y son del orden de 200 mg/l a 300 mg/l para el cloruro sódico, potásico y cálcico.

GRUPO IV: Aguas que no cumplen con los requisitos bacteriológicos expresados en los grupos anteriores (aguas con concentraciones mayores a 20 000 coliformes totales o 4 000 coliformes termorresistentes por 100 ml de muestra).

No se deben utilizar estas aguas como fuente de abastecimiento. Sin embargo de no existir otras fuentes de agua disponible y dado el avance de la tecnología, podrán utilizarse después de un tratamiento adecuado. En este caso debe efectuarse un estricto control de calidad y observar en todo momento el cumplimiento de la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos), en lo referente a la calidad bacteriológica.

GRUPO V: Aguas que no cumplen con uno o más requisitos físico - químicos, radiológicos o de contenido de contaminantes orgánicos establecidos en la Norma Boliviana NB 512 (Agua potable – Requisitos).

No se deben utilizar estas aguas como fuente de abastecimiento. Sin embargo de no existir otras fuentes de agua disponible y dado el avance de la tecnología, podrá utilizarse después de un tratamiento avanzado (**procesos de membranas**: nanofiltración, osmosis inversa; **intercambio iónico**: aniónico, catiónico; **adsorción**: carbón granular activado, carbón pulverizado activo, alúmina activada), antecedidos de un proceso de tratamiento convencional y precedidos de **desinfección**; cloración, ozonización, radiación ultra violeta entre otros. Los procesos serán seleccionados de acuerdo a la calidad del agua a tratar y deberán ser técnicamente justificados por el proyectista y dados a conocer a la autoridad competente.

En este caso debe efectuarse un estricto control de calidad físico – química del agua para asegurar que su calidad cumpla en todo momento con lo establecido en la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable - Requisitos).

TABLA 1
CRITERIOS DE SELECCIÓN DE TRATAMIENTO SEGÚN LA CALIDAD DEL AGUA CRUDA
PLANTAS CONVENCIONALES

Tipo de planta	Alternativas	Limites de calidad de agua cruda aceptables.		
		90 % DEL TIEMPO	**80 % DEL TIEMPO**	**ESPORADICAMENTE**
FILTRACIÓN RÁPIDA (PROCESOS FÍSICOS Y QUÍMICOS)	Filtración rápida completa: coagulación + decantación + filtración rápida descendente.	$T_o \leq 1\,000$ UNT $C_o \leq 150$ UC C.T. ≤ 600/100 ml.	To ≤ 800 UNT Co ≤ 70 UC.	T_o Max ≤ 1 500 UNT Si T_o > 1 500 UNT añadir presedimentador C.T. > 600/100 ml añadir precloración.
	Filtración directa descendente: mezcla rápida + filtración rápida descendente.	$T_o \leq 30$ UNT $C_o \leq 40$ UC Algas ≤ 100 mg/m^3 C.T. ≤ 500/100 ml.	$T_o \leq 20$ UNT	T_o Max ≤ 50 UNT
	Filtración directa ascendente: mezcla rápida + filtración rápida ascendente.	$T_o \leq 100$ UNT $C_o \leq 60$ UC	$T_o \leq 50$	T_o Max ≤ 200 UNT C_o Max ≤ 100 UC
	Filtración directa ascendente - descendente: mezcla rápida más filtración ascendente + filtración descendente.	$T_o \leq 250$ UNT $C_o \leq 60$ UC	$T_o \leq 150$ UNT	T_o Max ≤ 400 UNT C_o Max ≤ 100 UC

T_O: Turbiedad del agua no tratada
UC: Unidades de color aparente
C.T.: Coliformes Termorresistentes

ANEXO "C"
TABLA 1
ANÁLISIS BÁSICOS RECOMENDABLES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA DESTINADAS A CONSUMO HUMANO EN POBLACIONES MENORES A 10 000 HABITANTES

Nº	Parámetro	Unidad	Tiempo máximo de preservación recomendado
Análisis Físicos			
1	Turbiedad	U.N.T	48 horas
2	Color	U.C. Escala Pt – Co	48 horas
3	Olor *	-	6 horas
4	Sabor *	-	24 horas
5	Temperatura	ºC	In situ
6	Sólidos totales disueltos	mg/l	14 días
7	Sólidos totales suspendidos	mg/l	6 meses
Análisis Químicos			
8	Dureza total	mg/l ($Ca\ CO_3$)	6 meses
9	Calcio	mg/l	6 meses
10	Magnesio	mg/l	6 meses
11	Manganeso	mg/l	6 meses
12	Hierro	mg/l	28 días
13	Sulfatos	mg/l	6 meses
14	Cloruros	mg/l	7 días
15	Fluoruros	mg/l	48 horas
16	Nitratos	mg/l	48 horas
17	Nitritos (1)	mg/l	2 horas
18	pH	-	
Análisis Bacteriológicos			
19	Coliformes totales	NMP/100 ml ***	24 horas
20	Escherichia coli**(*E. coli*)	NMP/ 100 ml***	24 horas Las muestras deben ser conservadas a baja temperatura. Nunca congeladas.
Análisis Complementarios			
21	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5	mg/l	Realizar la determinación dentro de las 24 horas, previa conservación a 4ºC.
22	Oxígeno disuelto OD	mg/l	Fijar in situ, analizar antes de las 8 horas y no exponer la muestra directamente al sol.
23	Conductividad	μmhos/cm	Realizar la determinación dentro de las 48 horas.

(*) Debe ser inobjetable.
(1) Se debe analizar en el tiempo establecido para evitar la oxidación de los mismos.
(**) Las concentraciones de coliformes termorresistentes (termotolerantes) están en relación directa con las de *Escherichia coli* (*E. coli*), por tanto pueden determinarse indistintamente y dependerá de las facilidades laboratoriales disponibles; Ref.: Guías para la Calidad de Agua Potable, OMS, Ginebra 1995.
(***) NMP/100 ml, Número Más Probable por 100 ml o UFC/100 ml, Unidades Formadoras de Colonias por 100 ml según la técnica empleada (Tubos múltiples o Membrana Filtrante).
(1) Por la limitada estabilidad de los nitritos, es recomendable realizar la determinación in situ.
Nota: La lista de los parámetros no está restringida, por lo que el proyectista podrá solicitar otros parámetros no especificados según las características del proyecto y los antecedentes de calidad de agua que se tengan en la zona.

TABLA 2
VALORES MÁXIMOS ACEPTABLES POR LA NORMA BOLIVIANA NB 512 (AGUA POTABLE – REQUISITOS)

Nº	Parámetro	Valor máximo aceptable	Unidad
Análisis Físicos			
1	Turbiedad	5	U.N.T
2	Color	15	U.C. Escala Pt – Co
3	Olor *	-	-
4	Sabor *	-	-
5	Temperatura *	-	ºC
6	Sólidos totales disueltos	1 000	mg/l
7	Sólidos totales suspendidos **	-	mg/l
Análisis Químicos			
8	Dureza total	500	mg/l ($Ca\ CO_3$)
9	Calcio***	-	mg/l
10	Magnesio***	-	mg/l
11	Manganeso	0,1	mg/l
12	Hierro total	0,3	mg/l
13	Sulfatos	400,	mg/l
14	Cloruros	250	mg/l
15	Fluoruros	(0,6 – 1.5)****	mg/l
16	Nitratos (1) NO_3^-	45	mg/l
17	Nitritos(1) NO_2^-	0,1	mg/l
18	pH	6,5 – 9,0	-
Análisis Bacteriológicos			
19	Coliformes totales	0,0 UFC/100 ml	<2 NMP/100 ml*****
20	Escherichia coli (*E. coli*)	0,0 UFC/100 ml	< 2 NMP/ 100 ml
Análisis Complementarios			
21	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5	N.E.	mg/l
22	Oxígeno disuelto OD	N.E	mg/l
23	Conductividad	1 500	μmhos/cm

(*) Debe ser inobjetable.
(**)Guardan relación con la turbiedad.
(***) Guardan relación con la dureza total
(****) Concentraciones mínima y máxima para diferentes temperaturas (ambiente); Véase NB 512 (Agua potable - Requisitos).
(*****)NMP/100 ml, Número Más Probable por 100 ml o UFC/100 ml, Unidades Formadoras de Colonias por 100 ml según la técnica empleada (Tubos múltiples o Membrana Filtrante).
(1) Condición: $(NO_3^-/45) + (NO_2^-/0,1) < 1$
N.E.: No Especificado en la Norma NB 512. El parámetro DBO_5 servirá como comprobación de contaminación microbiológica, posibilidad de conexiones cruzadas. El parámetro Oxígeno disuelto > 4 mg/l garantiza posibilidad de vida acuática (aguas superficiales de calidad admisible, a excepción de las aguas subterráneas). El parámetro conductividad guarda relación con el contenido iónico total (sales disueltas), valores superiores pueden influir en la apariencia, el sabor o el olor del agua (Guías OPS/OMS).

ANEXO "D"
TABLA 1
GUÍA GENERAL DE PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS

Calidad del agua a tratar	PROCESO DE TRATAMIENTO				
	Aireación para:		Sedimentación simple	Filtración gruesa o rápida	Desinfección
	Incrementar el O_2	Reducir el CO_2			
Aeróbica moderadamente dura, no corrosiva					**X**
Aeróbica blanda y corrosiva		**X**			**X**
Anaeróbica moderadamente dura no corrosiva sin hierro y manganeso	**X**				**X**
Anaeróbica moderadamente dura no corrosiva con hierro y manganeso	**X**		**O**	**X**	**X**
Aeróbica blanda, corrosiva sin hierro y manganeso	**X**	**X**			**X**
Aeróbica blanda, corrosiva con hierro y manganeso	**X**	**X**	**O**	**X**	**X**

Fuente Internacional Research Center (IRC)
X = Tratamiento necesario
O = Tratamiento opcional

TABLA 2
GUÍA DE SELECCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO EN SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE MÚLTIPLES ETAPAS

Etapa de tratamiento y distribución	Turbidez			Coliformes termorresistentes o E. Coli		
	Eficiencia de remoción (%)*	Valor promedio U.N.T.	Valor máximo recomendable U.N.T.	Eficiencia de remoción (%)*	Valor promedio U.F.C./100 ml.	Valor máximo U.F.C./100 ml.
Sedimentación o filtro grueso dinámico	50	60	600	50	1 000	10 000
Prefiltración (gruesa en 3 etapas)	80	30	300	90	500	5 000
Filtración lenta en arena	> 90	6	60	95	50	500
Desinfección	N.A. *	<1	< 5	> 99,99	< 3	25
Agua tratada en el sistema de distribución (red)	N.A. *	<1	< 5	N.A. *	< 1	< 1

* Remociones esperadas en cada etapa para cumplir los objetivos del tratamiento
Fuente: Barry Lloyd, Gerardo Galvis, Rafael Eurovique
N.A.: No aplicable.

Adaptado de: Filtración en Múltiples etapas CINARA – IRC; 1999

ANEXO “E”

FIGURAS - SEDIMENTACIÓN

ANEXO “F”

GRÁFICOS, FIGURAS - AIREACIÓN

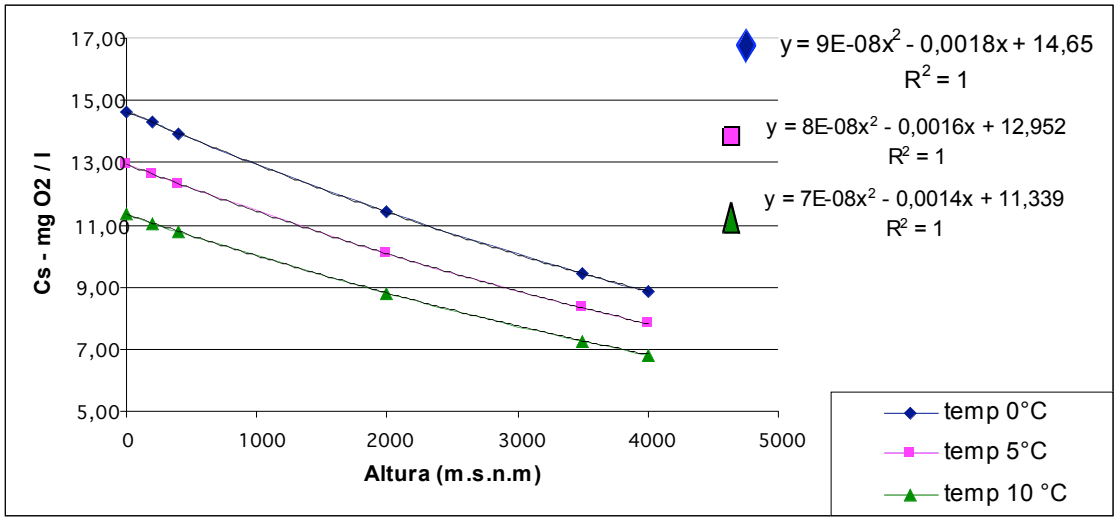


Gráfico 1 - Variación de la concentración de oxígeno según la altitud y temperatura ºC

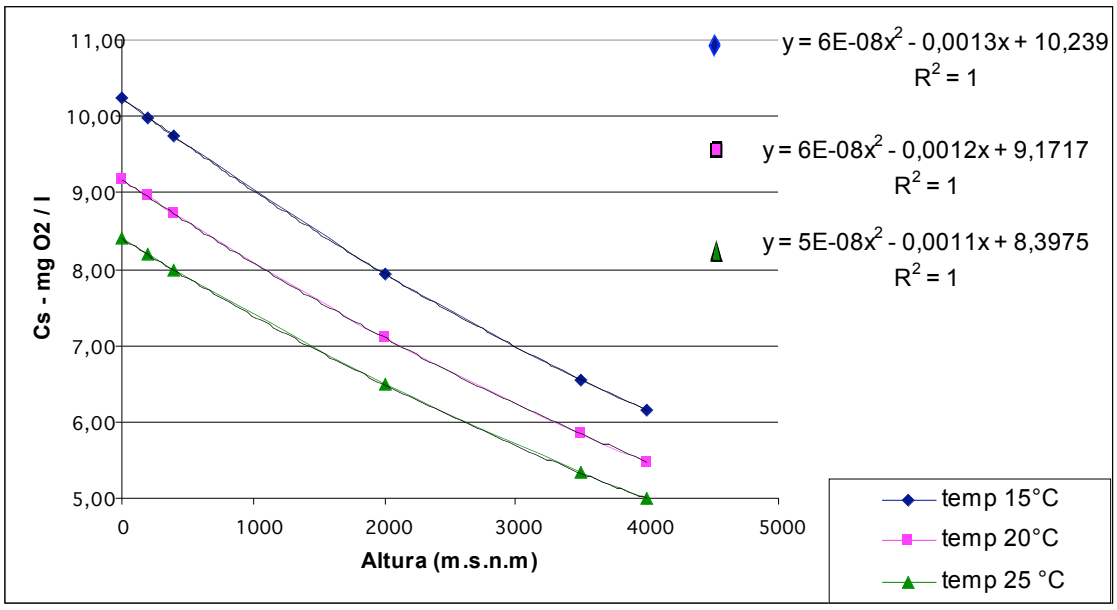


Gráfico 2 - Variación de la concentración de oxígeno según la altitud y temperatura º C

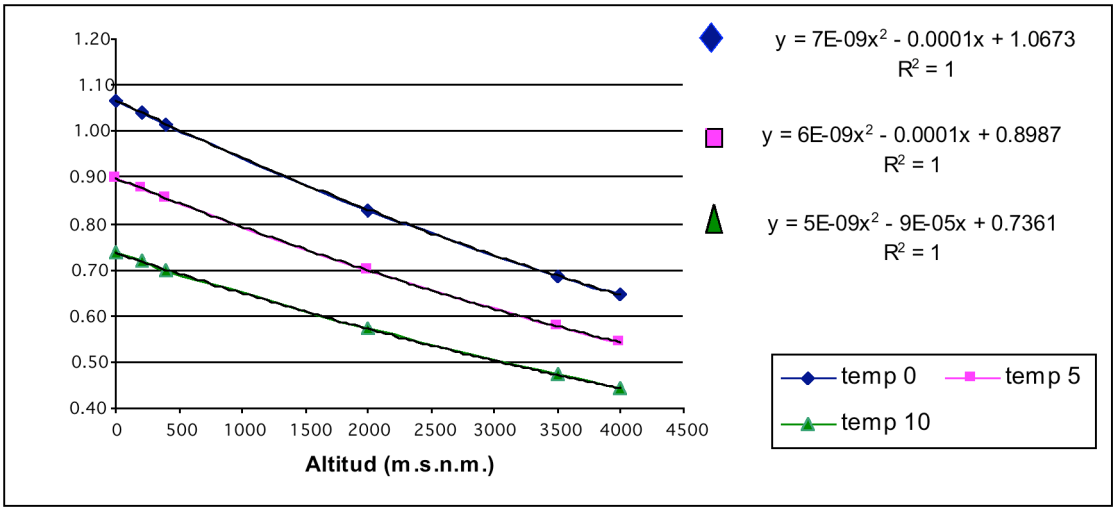


Gráfico 3 Variación de la concentración de dióxido de carbono según la altitud y temperatura ºC

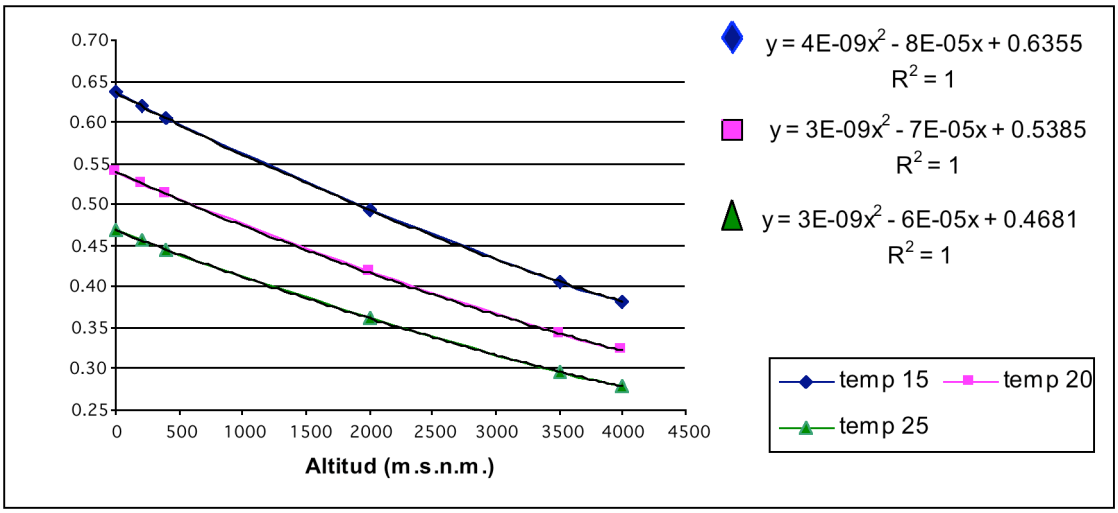


Gráfico 4 Variación de la concentración de dióxido de carbono según la altitud y temperatura ºC

ANEXO “G”

FIGURAS - MEZCLA RÁPIDA

ANEXO “H”

FIGURAS - FLOCULACIÓN

ANEXO “I”

FIGURAS - SEDIMENTACIÓN DE ALTA TASA, FLOTACIÓN

ANEXO “J”

FIGURAS - FILTRACIÓN RÁPIDA

ANEXO “K”

FIGURAS - FILTRACIÓN DE TASA DECLINANTE

ANEXO “L”

FIGURAS

FILTRACIÓN DE FLUJO

ASCENDENTE - DESCENDENTE

ANEXO “M”

FIGURAS - FILTRACIÓN GRUESA DINÁMICA, FILTRACIÓN GRUESA ASCENDENTE

ANEXO “N”

FIGURAS - FILTRACIÓN LENTA EN ARENA

ANEXO “O”

FIGURAS - MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS

AGRADECIMIENTO

El Ministerio de Servicios y Obras Públicas, a través del Viceministerio de Servicios Básicos, expresa su agradecimiento a todas las instituciones y profesionales que de manera desinteresada hicieron posible la actualización de los presentes Reglamentos, en forma especial se agradece a:

Arq. Jorge Carrasco
DIRECTOR EJECUTIVO - FPS

Dr. Alfonso Garcia
PRESIDENTE EJECUTIVO - FNDR

Ing. Johnny Cuellar
SUPERINTENDENTE DE SANEAMIENTO BASICO – SISAB

Ing. Ronny Vega
GERENTE GENERAL - ANESAPA

Lic. Kory Eguino
DIRECTORA EJECUTIVA - IBNORCA

Sr. Torsten Wetterblad
CONSEJERO JEFE DE COOPERACION – EMBAJADA DE SUECIA

Lic. Isabel Ascarrunz
OFICIAL DE PROGRAMAS - Asdi

VSB: Viceministerio de Servicios Básicos

El VSB, creado por Decreto Supremo Nº 25055, Decreto Reglamentario de la Ley Nº 1788 "Ley de Organización del Poder Ejecutivo (LOPE), del 16 de septiembre de 1997, con el propósito de promover el mejoramiento de la calidad de vida de la población boliviana a través de la dotación de servicios sostenibles de agua potable y saneamiento y gestión de residuos sólidos. El VSB tiene las siguientes funciones y atribuciones:

- Formular, ejecutar y controlar políticas y normas sectoriales destinadas al desarrollo e instalación de los servicios básicos para mejorar las coberturas mediante planes y programas de inversión, compatibilizando las necesidades y prioridades regionales.
- Promover y proponer la discusión de normas de diseño y uso de tecnología apropiada, para alcanzar mayor cobertura en los servicios, controlando su aplicación y apoyando la investigación tecnológica.
- Efectuar el seguimiento al cumplimiento de los programas de saneamiento básico, en el marco del Plan Sectorial correspondiente.
- Mantener un sistema de información sectorial actualizando a nivel nacional y departamental.
- Diseñar y realizar programas de capacitación y formación de recursos humanos, en administración, operación, mantenimiento, educación sanitaria y participación comunitaria.
- Elaborar programas de desarrollo institucional supervisando su ejecución y apoyando su aplicación en el Sector.
- Velar por el cumplimiento de la política tarifaría en los servicios de saneamiento básico.

Revisión

Los presentes Reglamentos están sujetos a ser revisados periódicamente, con el objeto de que respondan permanentemente a las necesidades y exigencias del Sector.

Características de aplicación

Estos Reglamentos se constituyen en instrumentos de ordenamiento tecnológico, orientadas a aplicar criterios de calidad, su utilización es de carácter obligatorio y un compromiso conciencial y de responsabilidad de las instituciones y profesionales que trabajan en el Sector.

Información sobre Normas y Reglamentos Técnicos

El VSB ha habilitado en su página WEB (www.sias.gov.bo) un espacio de "Normas Técnicas", donde se encuentran en formato pdf las distintas normas y reglamentos técnicos del Sector.

Derechos de Propiedad

Documento del Ministerio de Servicios y Obras Públicas de la República de Bolivia. Se autoriza la reproducción parcial o total, haciendo referencia a la fuente.

Ministerio de Servicios y Obras Públicas
Viceministerio de Servicios Básicos
Av. Mariscal Santa Cruz, Edif. Centro de Comunicaciones, piso 14
Tel: 231 3292 – 231 1010
www.sias.gov.bo
La Paz – Bolivia