

# Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS

## TÍTULO B **Sistemas de Acueducto**



Libertad y Orden

**Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio**  
**Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico**

República de Colombia



Libertad y Orden

## Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

República de Colombia

Presidente de la República  
Juan Manuel Santos Calderon

Ministra de Vivienda, Ciudad y Territorio  
Beatriz Uribe Botero

Viceministro de Agua y Saneamiento  
Iván Fernando Mustafá

Director de Programas  
Edgar Pulecio Bautista

Director de Desarrollo Sectorial  
Javier Moreno Méndez

Asesores • Grupo Técnico de la Junta Asesora del RAS  
María Elena Cruz Latorre  
Zulma Lorena Ávila López  
Miguel Ángel Castro Munar  
Mauricio Alfonso Rivera Salcedo  
David Guillermo Tamayo Guerrero

ISBN: 978-958-8491-51-6

## Universidad de los Andes

Director del Proyecto  
Juan Guillermo Saldarriaga Valderrama

Subdirector del Proyecto  
Mario Enrique Moreno Castiblanco

Especialista en Sistemas de Acueducto  
Cesar Mauricio Jurado Toro

Especialista en Sistemas de Alcantarillados  
Marta Rocío Acosta Monsalve  
Héctor William Clavijo Sanabria

Investigador Área de Acueductos  
Fabio Elías Amador Berrio

Investigador Área de Alcantarillados  
Julio Carlos De Oro Vergara

Comité de Asesores                          Asistentes de Investigación  
Carlos Parra Ferro                         Marianela Correa García  
Eduardo Bravo Restrepo                    Diego Alejandro Pulgarín Montoya  
Germán Torres Merchán                    María Alejandra Escobar Bernal  
Carlos Eduardo Molano Cajigas           Dina Margarita Gómez Espinosa  
Tito Alejandro Saavedra Ramírez        Maly Johanna Puerto López

Asistentes Administrativos  
Elizabeth Rodríguez Salinas  
Mireya Perafán Peña

EL MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, COMO PROPIETARIO E INTERVENTOR DEL PROYECTO Y LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, A TRAVÉS DEL CIACUA, CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL, COMO CONTRATISTA DEL PROYECTO

## CATALOGACIÓN EN LA FUENTE

Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico [recurso electrónico] : TÍTULO B. Sistemas de acueducto. – 2 ed. / Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico (Ed.); Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA. – Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010. 480 p.

ISBN: 978-958-8491-51-6

1. Agua potable 2. Acueducto 3. Servicios públicos domiciliarios  
4. Demanda de agua 5. Infraestructura 6. Abastecimiento de agua  
7. Sistema de suministro de agua potable 8. Gestión del riesgo

I. Tit. II. Reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico III. Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA



# CONTENIDO

## B1. ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO

B1.1	Alcance	7
B1.2	Etapas necesarias para la formulación y elaboración de proyectos de sistemas de acueducto	8
B1.3	Planos y memorias de cálculo	14
B1.4	Tecnologías de información para sistemas de acueducto	19

## B2. DEMANDA DE AGUA

B2.1	Alcance	21
B2.2	Gerencia de la demanda de agua	21
B2.3	Usos del agua	22
B2.4	Proyección de los usuarios del sistema	24
B2.5	Dotación neta	30
B2.6	Pérdidas de agua	35
B2.7	Dotación bruta	37
B2.8	Cálculo de la demanda de agua	37
B2.9	Caudal de incendios	40

## B3. FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

B3.1	Alcance	43
B3.2	Consideraciones generales	43
B3.3	Aspectos adicionales	43
B3.4	Fuentes superficiales	45
B3.5	Fuentes subterráneas	53

## B4. CAPTACIONES DE AGUA SUPERFICIAL

B4.10	Alcance	59
B4.2	Estudios previos	59
B4.3	Condiciones generales	62
B4.4	Parámetros de diseño	66
B4.5	Diseño de captaciones	72
B4.6	Desarenadores	83
B4.7	Aspectos de la puesta en marcha	87
B4.8	Aspectos de la operación	88
B4.9	Aspectos del mantenimiento	90

## B5. CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA

B5.1	Alcance	95
B5.2	Estudios previos	95

B5.3	Condiciones generales	99
B5.4	Diseño de pozos	101
B5.5	Obras adicionales en los pozos profundos	112
B5.6	Pozos piezométricos	114
B5.7	Recarga de acuíferos	115
B5.8	Aspectos de la puesta en marcha	115
B5.9	Aspectos de la operación	118
B5.10	Aspectos de mantenimiento	119
<b>B6. ADUCCIONES Y CONDUCCIONES</b>		
B6.1	Alcance	123
B6.2	Estudios previos	123
B6.3	Condiciones generales	133
B6.4	Parámetros de diseño	140
B6.5	Diseño de las aducciones y conducciones	160
B6.6	Otras consideraciones de diseño	187
B6.7	Accesorios, estructuras de aducciones y conducciones	192
B6.8	Referenciación de componentes	212
B6.9	Aspectos de la puesta en marcha	214
B6.10	Aspectos de la operación	219
B6.11	Aspectos del mantenimiento	226
<b>B7. REDES DE DISTRIBUCIÓN</b>		
B7.1	Alcance	233
B7.2	Estudios previos	233
B7.3	Condiciones generales	241
B7.4	Parámetros de diseño	254
B7.5	Diseño de las redes de distribución	265
B7.6	Otras consideraciones de diseño	281
B7.7	Accesorios y estructuras para las tuberías de la red de distribución	285
B7.8	Referenciación de componentes	313
B7.9	Aspectos de la puesta en marcha redes de distribución	317
B7.10	Aspectos de la operación de redes de distribución	325
B7.11	Aspectos del mantenimiento de redes de distribución	336
<b>B8. ESTACIONES DE BOMBEO</b>		
B8.1	Alcance	343
B8.2	Estudios previos	343

B8.3	Condiciones generales	347
B8.4	Parámetros de diseño	349
B8.5	Diseño de las estaciones de bombeo	355
B8.6	Referenciación de las estaciones de bombeo	369
B8.7	Aspectos de la puesta en marcha	370
B8.8	Aspectos de la operación	373
B8.9	Aspectos de mantenimiento	376
<b>B9.</b>	<b>TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y COMPENSACIÓN</b>	
B9.1	Alcance	381
B9.2	Estudios previos	381
B9.3	Condiciones generales	386
B9.4	Parámetros de diseño	391
B9.5	Generación de alternativas	400
B9.6	Otras consideraciones de diseño	401
B9.7	Obras complementarias	406
B9.8	Aspectos de la puesta en marcha de los tanques	409
B9.9	Aspectos de la operación tanques de almacenamiento	411
B9.10	Aspectos del mantenimiento de tanques	413
<b>B11.</b>	<b>ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y GESTIÓN DEL RIESGO</b>	
B10.1	Alcance	417
B10.2	Análisis y valoración del riesgo en sistemas	417
B10.3	Programa de gestión del riesgo-medidas de control	421
B10.4	Gestión, análisis del riesgo y de la vulnerabilidad de la calidad del agua en sistemas de acueducto	425
<b>B.0</b>		
	Bibliografía	433
	Sistema de unidades	441
	Variables	443
	Abreviaturas	448
	Normas técnicas referenciadas	449
	Leyes, decretos y legislación pertinente	458
	Definiciones	459

# TÍTULO B

## ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO

# 1. ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO

## 1.1 Alcance

El propósito de este capítulo es fijar los criterios básicos, los requisitos mínimos y los valores específicos y límites que deben tenerse en cuenta en los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de acueducto que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad técnica, eficiencia de operación, sostenibilidad y redundancia, dentro de un nivel de complejidad del sistema determinado.

El presente Título incluye el cálculo de la demanda de agua, las fuentes de abastecimiento, las captaciones de agua superficial y subterránea, las aducciones y conducciones, las redes de distribución, las estaciones de bombeo de agua cruda y agua tratada, los tanques de almacenamiento y compensación que forman parte de los sistemas de acueducto, el análisis de vulnerabilidad y gestión del riesgo asociados a proyectos de sistemas de acueducto, cuyas prescripciones particulares deben seguirse según lo indicado en los literales listados en la tabla B.1.1. No incluye las plantas de tratamiento de agua potable, ni los procesos de potabilización, aspectos que son tratados en el Título C del RAS: "Sistemas de potabilización". Tampoco incluye los aspectos ambientales que son tratados en el Título I "Componente ambiental para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo".

Los lineamientos establecidos en el presente Título se encuentran enmarcados en los "Objetivos de Desarrollo del Milenio" definidos en la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas (Nueva York, 2000)<sup>1</sup>.

Tabla B.1.1 Contenido del presente Título

Componente	Capítulo
Aspectos generales de los sistemas de acueducto	B.1
Demanda de agua	B.2
Fuentes de abastecimiento de agua	B.3
Captaciones de agua superficial	B.4
Captaciones de agua subterránea	B.5
Aducciones y conducciones	B.6
Redes de distribución	B.7
Estaciones de bombeo	B.8
Tanques de almacenamiento y compensación	B.9
Análisis de vulnerabilidad y gestión del riesgo	B.10

<sup>1</sup> <http://www.pnud.org.co>

# 1.2 Etapas necesarias para la formulación y elaboración de proyectos de sistemas de acueducto

Toda acción relacionada con el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y/o la supervisión técnica de algún sistema de acueducto, debe seguir el procedimiento general mostrado a continuación:

## 1.2.1 Etapa de conceptualización y planificación

Los proyectos que se desarrollen en el país deberán incluir un informe preliminar que certifique el cumplimiento de los pasos 1 a 10 de la etapa de conceptualización y planificación descrita en el literal B.1.2.1 de este Título.

### 1.2.1.1 PASO 1 - Definición del nivel de complejidad del sistema

Debe definirse el nivel de complejidad del sistema, según se establece en el capítulo A.3 del Título A “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico” del RAS para cada uno de los componentes del sistema.

### 1.2.1.2 PASO 2 – Justificación del proyecto

Todo componente de un sistema de acueducto debe estar justificado con los criterios establecidos en el capítulo A.4 “Identificación y justificación de los proyectos” del Título A del RAS. Adicionalmente, el proyecto debe cumplir con las metodologías de priorización establecidas en el capítulo A.5 “Priorización de proyectos” del Título A del RAS.

La entidad territorial, la persona prestadora del servicio o cualquier otra entidad que promueva o desarrolle proyectos de acueducto debe describir claramente las razones que motivan el proyecto, especialmente aquellas relacionadas con problemas de salud pública, de medio ambiente o de bienestar social y los objetivos que se pretende alcanzar con la ejecución de dicho proyecto. Se debe buscar también realizar una gestión del riesgo con el fin de incrementar la eficiencia tanto en la prestación del servicio de acueducto como en la preservación de los recursos naturales.

### 1.2.1.3 PASO 3 - Conocimiento del marco institucional

El consultor del sistema debe identificar las diferentes entidades relacionadas con la prestación del servicio público de acueducto, describiendo sus responsabilidades y las funciones de cada una. Las entidades que deben identificarse son:

1. Entidad responsable del proyecto.
2. El consultor.
3. Rol del municipio, ya sea como prestador del servicio o como administrador del sistema.
4. Persona Prestadora de Servicios Públicos y su carácter (Oficial, mixto o privado).
5. Entidades territoriales competentes.
6. Entidades de planeación (Dirección Nacional de Planeación -DNP, Viceministerio de Agua y Saneamiento del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, etc.).
7. Entidad reguladora (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico -CRA u otra).
8. Entidad de vigilancia y control (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios -SSPD u otra).
9. El operador.
10. El interventor del proyecto.
11. Acciones proyectadas de la comunidad en el sistema
12. Autoridad ambiental competente (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, corporaciones autónomas regionales, etc.).
13. Fuentes de financiación.

### 1.2.1.4 PASO 4 - Acciones legales

Se deben cumplir las normas vigentes relacionadas con la conceptualización, el diseño, la construcción, el mantenimiento, la supervisión técnica, la puesta en marcha y la operación de un sistema de acueducto en general y de cada uno de sus componentes en particular. Además, debe tenerse en cuenta los compromisos adquiridos por el Estado colombiano en lo concerniente a los Objetivos del Milenio.

Se debe tener en cuenta lo establecido en el Título I: “Componente ambiental para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo” sobre los aspectos ambientales con el fin de garantizar la sostenibilidad y el desarrollo adecuado del sistema de acueducto o de cualquiera de sus componentes. Igualmente se debe aplicar lo dispuesto en la Ley 388 de 1997 sobre ubicación de la infraestructura de acueducto y el Decreto 1469 de 2010 sobre licencias urbanísticas.

### 1.2.1.5 PASO 5 - Aspectos ambientales relacionados con el sistema de acueducto.

Todo proyecto que involucre un sistema de acueducto debe obtener las autorizaciones ambientales a que haya lugar por el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, conforme a la normatividad ambiental vigente.

También cumplir lo dispuesto en los planes de ahorro y uso eficiente del agua y los objetivos de calidad incluidos en los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) aprobados por la autoridad ambiental.

### 1.2.1.6 PASO 6 - Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previstos

Se debe conocer y dar cumplimiento al Plan de desarrollo y el Plan de ordenamiento territorial en lo relacionado con el tema de infraestructura de agua potable y establecer las implicaciones que el sistema de acueducto o cualquiera de sus componentes tendría dentro de la dinámica del desarrollo urbano.

En particular, el diseño de un sistema de acueducto o de cualquiera de sus componentes, debe contemplar la dinámica de desarrollo urbano prevista en el corto, mediano y largo plazo de las áreas habitadas y las proyectadas en los próximos años, teniendo en cuenta aspectos tales como la utilización del suelo, la estratificación socioeconómica, el plan vial y las zonas de conservación y protección de recursos naturales renovables, entre otros.

### 1.2.1.7 PASO 7 – Definición del alcance del proyecto

Una vez justificado el proyecto y conocidos los aspectos institucionales y legales, el consultor debe hacer la definición de los alcances específicos. Estos pueden incluir el diseño de un sistema completamente nuevo en el municipio objeto del diseño, la extensión de un sistema de acueducto existente, la ampliación de un sistema existente por aumento en la densidad poblacional, o por finalización de un período de diseño.

En la definición de los alcances específicos se debe establecer si el proyecto incluye bocatomas, desarenadores, aducciones, conducciones, redes de distribución, tanques de almacenamiento y/o compensación y/o estaciones de bombeo. En cada uno de estos componentes se debe establecer el alcance específico, indicando si se trata de una construcción nueva, una ampliación o una adaptación a la infraestructura existente. Para sistemas nuevos el proyecto siempre debe incluir almacenamiento de agua. En el caso particular de las redes de distribución, los alcances específicos pueden incluir aspectos tales como la mejora en la distribución de presiones en la red, la sectorización hidráulica, el aumento en la redundancia de la red de conducciones o de las redes de distribución con el

fin de aumentar la confiabilidad del sistema, un análisis sísmico de la zona y su afectación en la red de conducciones o en las redes de distribución, un cambio en la forma de operación hidráulica con el fin de optimizar la operación y el mantenimiento preventivo del sistema, etc.

### 1.2.1.8 PASO 8 - Estudios de factibilidad

Todo proyecto de acueducto debe incluir el desarrollo de los estudios de factibilidad y los estudios previos mencionados en el capítulo A.7 “Estudios previos” del Título A “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico” del RAS. Tales estudios tienen el objetivo de establecer las condiciones físicas, económicas, sociales y ambientales del municipio o de la localidad en la cual se va a llevar a cabo el proyecto, para generar el planeamiento de diferentes escenarios de operación que tengan en cuenta tanto los componentes actuales como los futuros del sistema, todo dentro de un análisis de optimización de inversiones.

En aquellos casos en que el proyecto identificado corresponda a la ampliación o mejora de un sistema existente, se debe identificar y evaluar toda la infraestructura aprovechable ya sea por su buen estado o por su capacidad hidráulica. Se debe formular un plan de reforzamiento del sistema cuando el proyecto implique el desarrollo de su ampliación o rehabilitación.

### 1.2.1.9 PASO 9 - Generación de alternativas y optimización económica y financiera

Teniendo en cuenta los resultados de los estudios de factibilidad y la información obtenida, el consultor o la persona prestadora del servicio del proyecto deberá identificar y formular diferentes escenarios o alternativas de solución que cumplan con el alcance y los objetivos definidos para el proyecto de acueducto, originados a partir de los diseños optimizados obtenidos para cada componente. A fin de seleccionar la solución más apropiada para la comunidad, el consultor o la persona prestadora del servicio deberá realizar para cada alternativa una evaluación socioeconómica y con base en la comparación de sus resultados seleccionar aquella de mayor beneficio al menor costo económico.

Para la generación de alternativas, el consultor deberá considerar como mínimo los siguientes criterios:

- Favorecer el desarrollo por etapas.
- Aprovechar los beneficios de la gestión por demanda.
- Buscar la integralidad de la cuenca.
- Aprovechar la infraestructura existente.
- En el análisis de alternativas se deben evaluar al menos dos tipos diferentes de material para los ductos.

Por “integralidad de la cuenca” se refiere, a los aspectos físicos, técnicos, ambientales, climatológicos y antrópicos presentes en la cuenca para poder generar un diseño integral de la infraestructura que tenga en cuenta calidad y cantidad del recurso hídrico.

Cada alternativa debe ser evaluada desde los puntos de vista técnico, económico, financiero y de impacto ambiental con el objetivo de reconocer su viabilidad integral. Al realizar el estudio de viabilidad económico-financiera deberá evaluarse la capacidad de pago de los usuarios y del municipio de acuerdo con los requerimientos de participación en los recursos.

Una vez seleccionadas las alternativas viables, se procede a su evaluación socioeconómica con objeto de seleccionar la más idónea.

### 1.2.1.10 PASO 10 - Evaluación socioeconómica

El proceso de comparación de alternativas para un proyecto de acueducto debe ser objeto de una evaluación socioeconómica. En dicha evaluación se deben considerar las etapas de construcción, operación y mantenimiento siguiendo lo establecido en los capítulos A.4 “Identificación y justificación de los proyectos” y A.8 “Evaluación socioeconómica” del Título A del RAS: “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico”

La evaluación y la factibilidad socioeconómica de las alternativas deben estar enmarcadas dentro de un proceso de optimización cuyo objetivo sea seleccionar la alternativa que aporta los mayores beneficios al menor costo económico.

El resultado de esta evaluación socioeconómica, indicará la alternativa que será objeto de diseño definitivo.

## 1.2.2 Etapa de diseño

La entidad contratante realizará el seguimiento, la supervisión y el control de la ejecución de todas y cada una de las actividades de la consultoría por intermedio de una firma o ingeniero interventor, quién será su representante para todos los efectos de los estudios y será el responsable por la calidad de los estudios y diseños presentados para emitir el concepto de viabilidad y que serán utilizados para la construcción de las obras. Por consiguiente, en el desarrollo de los pasos 11 a 14 debe existir un proceso de interventoría.

Todos los proyectos deberán contener un informe de diseño en el que se incluya el soporte detallado de las actividades definidas en los pasos 11 a 14 de la etapa de diseño descrita en el literal B.1.2.2 de este Título.

### 1.2.2.1 PASO 11 – Diseño y requerimientos técnicos

La alternativa seleccionada para el proyecto de acueducto, obtenida a través de la evaluación socioeconómica realizada y descrita en el informe

preliminar del proyecto, será la que se adopte y debe ser objeto del diseño definitivo. Se debe obtener la concesión de aguas y demás permisos ambientales a que haya lugar. Si el proyecto de acueducto requiere la construcción de un embalse se deberá obtener la licencia ambiental ante la autoridad ambiental competente de conformidad con lo dispuesto en el Decreto 2820 de 2010, como requisito para la ejecución del mismo. El consultor y/o la persona prestadora del servicio deben prestar especial atención a la definición de los protocolos de pruebas que deben establecerse desde esta etapa y que deben llevarse a cabo en el momento de la puesta en marcha del sistema, una vez finalizada su construcción y realizado el recibo de la obra por parte de la persona prestadora del servicio para su operación.

De acuerdo con lo anterior, el diseño de cualquier componente de un sistema de acueducto debe buscar la minimización de los costos de construcción, operación y mantenimiento para la alternativa seleccionada, cumpliendo los requerimientos mínimos establecidos en el presente Título que pueden ser encontrados en los literales indicados en la tabla B.1.1.

#### 1.2.2.2 PASO 12 - Definición de las fases de desarrollo

Con el fin de definir las etapas de construcción dentro del diseño de las estructuras de todos los componentes del sistema de acueducto, correspondientes a los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, éstas deberán analizarse y evaluarse utilizando la metodología de costo mínimo.

Las etapas o fases de ejecución deben quedar claramente establecidas en los diseños, en la evaluación financiera y socioeconómica de alternativas y en la presentación final del proyecto. Las ampliaciones del sistema deben ajustarse al aumento de la densidad poblacional y a la evaluación hidráulica del sistema ante el aumento de la demanda de agua potable.

#### 1.2.2.3 PASO 13 - Preparación de especificaciones técnicas

Una vez definido el diseño final del sistema de acueducto, se deben preparar todas las especificaciones técnicas que definen la construcción, suministro de materiales y equipos, puesta en marcha y operación de cada uno de los componentes del mismo de acuerdo con los diseños, los protocolos de pruebas y los manuales de operación y mantenimiento.

#### 1.2.2.4 PASO 14 - Preparación del presupuesto

A partir de los planos de diseño, las especificaciones técnicas y la localización de la obra, deben calcularse de manera detallada las cantidades de obra y los recursos materiales y humanos necesarios para ejecutar el proyecto y, con estos, se prepararán los análisis de precios unitarios de cada ítem incluido en el proyecto y el presupuesto general respectivo.

## 1.2.3 Etapa de construcción

### 1.2.3.1 PASO 15 – Proceso de contratación

El desarrollo de un proyecto de acueducto normalmente exige un proceso de contratación, el cual deberá someterse a la normatividad vigente. Los documentos requeridos para las contrataciones deben tener como propósito establecer, de manera clara, las obras a ser ejecutadas y la forma de pago de las mismas. En él se establecen las obligaciones legales y las responsabilidades de cada uno de los participantes con respecto al proyecto.

### 1.2.3.2 PASO 16 – Construcción e interventoría

Los procesos de construcción e interventoría de construcción y de puesta en marcha de un sistema de acueducto deben ajustarse a los requisitos mínimos establecidos en el Título G del RAS: “Aspectos complementarios”. Así mismo, se deben tener en cuenta los aspectos de gestión del riesgo y análisis de vulnerabilidad contenidos en el capítulo B.10 del presente Título y en el literal A.1.5 “Sobre otros reglamentos técnicos” del Título A del RAS: “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico”.

## 1.2.4 Etapa de operación y mantenimiento

### 1.2.4.1 PASO 17 – Puesta en marcha

Las medidas técnicas concernientes a la verificación de la puesta en marcha de los sistemas de acueducto o de algunos de sus componentes, deben seguir todos los requerimientos establecidos para cada componente en particular según el contenido de los literales de este Título listados en la tabla B.1.1.

### 1.2.4.2 PASO 18 - Operación y mantenimiento del sistema de acueducto

Los procedimientos y medidas pertinentes a la operación y el mantenimiento de los diferentes componentes de un sistema de acueducto deben seguir los requerimientos determinados para cada componente en particular según el contenido de los literales de este Título relacionados en la tabla B.1.1.

## 1.3 Planos y memorias de cálculo

Los requisitos para la presentación de los planos y las memorias de cálculo relacionados con los procesos de diseño y de elaboración de los

planos de construcción (*as built*) de bocatomas, aducciones, conducciones, redes de distribución de agua potable, estaciones de bombeo y tanques de almacenamiento y/o compensación, se deben establecer de acuerdo con lo determinado en los artículos 31 y 32 de la Resolución 1096 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico. Adicionalmente, se recomienda lo siguiente:

### 1.3.1 Planos de diseño y construcción

Con respecto al tipo de planos y a su presentación, tanto para el diseño de estructuras relacionadas con proyectos de acueducto así como para los planos de construcción, incluyendo la información mínima que debe estar contenida en dichos planos y sus convenciones y escalas, se deben tener en cuenta los manuales de producción de planos establecidos por la correspondiente persona prestadora del servicio público de acueducto. En caso que dicha persona no haya definido dichos estándares o que se trate de un municipio del nivel de complejidad del sistema bajo se deben tener en cuenta los siguientes requisitos mínimos para la producción de planos:

1. El consultor suministrará original y dos copias en formato ISO-A1 (594 mm x 841 mm) de los planos topográficos, generales de diseño, de detalles y uno reducido en planta y otro en perfil a una escala adecuada que permitan apreciar la totalidad del proyecto. Para los planos parciales se puede adoptar la escala 1:2000 o la que el consultor o la persona prestadora del servicio considere conveniente. En los planos de los perfiles de la conducción se deberá dibujar la linea piezométrica y en la parte inferior se indicarán, en espacios separados, las abscisas, cota de terreno (o negra), cota piezométrica, presión disponible, clase de tubería, longitud y diámetro. Todas las memorias y planos, sin excepción, deberán ser entregados por el consultor en medio digital, de acuerdo con las aplicaciones informáticas disponibles en la entidad contratante.
2. Debe seguirse todo lo establecido en el artículo 33 de la Resolución 1096 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico o la norma que lo modifique, adicione o sustituya.

La actualización de los manuales para la producción de planos, tanto en formato electrónico como impresos, es responsabilidad de cada una de las personas prestadoras del servicio de acueducto, salvo en el caso de los municipios con nivel de complejidad del sistema bajo, en cuyo caso se sugiere seguir los procedimientos y acciones definidos en los manuales de prácticas de buena ingeniería que hacen parte del RAS.

## 1.3.2 Memorias de cálculo

Para las memorias de cálculo de los diseños de sistemas de acueducto o alguno de sus componentes se debe seguir lo establecido en el capítulo A.6 “Presentación de planos y memorias de cálculo” del Título A del RAS: “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico”. Este Título establece que los planos arquitectónicos, hidráulicos, geotécnicos, estructurales y mecánicos que sean necesarios para la ejecución de la obra de acueducto deben ir acompañados de sus respectivas memorias de cálculo detalladas que describan los procedimientos, parámetros, criterios y los supuestos bajo los cuales se llevaron a cabo dichos diseños. Las memorias de cálculo deben incluir lo siguiente:

- a) Los criterios, parámetros y suposiciones utilizadas en los diseños.
- b) Las metodologías y ecuaciones de diseño utilizadas.
- c) La verificación del cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos por el presente Título.
- d) La referencia a todas las normas técnicas municipales, nacionales o internacionales para los materiales, equipos y procedimientos específicos utilizados para el diseño del sistema de acueducto.
- e) La referencia a las normas como leyes, decretos y resoluciones de obligatorio cumplimiento.
- f) En el caso en que para el proceso de diseño se utilice un proceso automático de información, las memorias de cálculo deben incluir la descripción detallada de los principios en que se basa dicho procedimiento así como la descripción de los datos de entrada y salida del correspondiente proceso computacional.
- g) El protocolo y los procedimientos de prueba establecidos por el consultor.
- h) Los análisis de precios unitarios, lista de materiales y equipos y el presupuesto detallado con su correspondiente programación de ejecución.
- i) Las memorias de cálculo deben indicar claramente el nivel de complejidad del sistema de acueducto utilizado para los diseños y las demás actividades del proyecto. Las memorias de cálculo deben ser aprobadas por el interventor de los diseños y éste podrá invalidar aquellas que contengan errores aritméticos, de cotas, de abcisados, de transcripción, copia u otras fallas imputables al descuido o a la falta de revisión por parte del diseñador.
- j) Tan pronto como se realice la construcción, estos planos deben actualizarse de forma que queden consignados los cambios realizados durante esta etapa (planos *as built*).

## 1.4 Tecnologías de información para los sistemas de acueducto

Con el fin de llevar a cabo el diseño de sistemas de acueducto nuevos o expansiones a sistemas existentes, se recomienda que el consultor y la persona prestadora del servicio hagan uso de tecnologías de información, teniendo en cuenta las consideraciones dadas en los literales B.1.4.1 a B.1.4.5.

### 1.4.1 Sistemas de información geográfica

Los sistemas de información geográfica (SIG) utilizados para realizar el diseño y la operación de los sistemas de acueducto deben permitir el manejo de toda la información de la red y demás componentes del sistema en un modelo digital que facilite generar las entradas a los diferentes módulos de manera simple y rápida. Además, el sistema de información geográfica debe permitir la posibilidad de realizar actualizaciones y seguimiento continuo del funcionamiento de la red, alimentándolo con toda información nueva adquirida por parte de la persona prestadora del servicio.

El SIG que debe utilizarse en el diseño, en lo posible, debe ser compatible con el sistema de información y las bases de datos utilizadas por la persona prestadora del servicio, sistema sobre el cual se debe generar toda la base de datos de información del sistema de distribución de agua potable.

### 1.4.2 Programas de diseño de redes de acueducto

Para el diseño de las redes de distribución de agua potable y de las líneas de conducción se pueden utilizar programas de modelación hidráulica de redes, que utilicen el método del gradiente para sus cálculos, que permitan la modelación de la operación del sistema bajo períodos extendidos, que realicen el diseño de las redes mediante rutinas de optimización y que permitan modelar la calidad del agua.

Adicionalmente, para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, el programa seleccionado debe permitir el intercambio directo de información con el sistema de información geográfica y las bases de datos definidas por la persona prestadora del servicio de acueducto en el municipio, lo anterior se recomienda para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio.

### 1.4.3 Diseño optimizado de redes de acueducto

Para el diseño de las redes de distribución de agua potable y de las líneas de conducción, se debe seleccionar la alternativa óptima económica de

combinación de los diferentes diámetros que cumplan con todas las restricciones hidráulicas y técnicas establecidas en el presente Título.

#### 1.4.4 Calidad del agua en sistemas de acueducto

Desde la etapa de diseño y durante toda la operación del sistema de distribución de agua potable es necesario conocer la calidad del agua en cada uno de los nodos de la red. Dicho conocimiento se puede basar en la simulación hidráulica y de calidad del agua de dichas redes en un programa de computador que utilice el método del gradiente para el cálculo hidráulico y que cuente con rutinas de cálculo de calidad del agua en tiempo extendido, en particular de sustancias no conservativas . Los resultados de dicha simulación deben utilizarse para establecer los puntos de muestreo de calidad del agua en la red de acuerdo con el Decreto 1575 de 2007 y sus resoluciones reglamentarias.

#### 1.4.5 Sistemas de monitoreo

Para el nivel de complejidad del sistema alto, y como parte del diseño, el consultor debe definir el tipo de información que debe ser monitoreada en el sistema diseñado ya sea nuevo o ampliación y/o reposición de un sistema existente, estableciendo los sitios de medición remota de datos, los parámetros a ser medidos, la precisión de la lectura y la frecuencia de las mediciones. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto se recomiendan los sistemas de monitoreo tipo SCADA.



# TÍTULO B

## DEMANDA DE AGUA

## **2. DEMANDA DE AGUA**

### **2.1 Alcance**

En este capítulo se establece el procedimiento que debe seguirse para la evaluación de la población objeto del diseño, la dotación bruta y la demanda de agua en un sistema de acueducto con el fin de determinar la capacidad real que un componente en particular o todo el sistema debe tener a lo largo de un período de diseño determinado.

Las prescripciones establecidas en el presente capítulo deben aplicarse a todos los niveles de complejidad del sistema a menos que se especifique lo contrario.

Dentro del procedimiento que debe seguirse para el cálculo de la demanda de agua, el consultor o la persona prestadora del servicio debe priorizar el cálculo de la proyección de la demanda utilizando los datos de demanda de agua existentes en el municipio o en la zona de éste, objeto del diseño, siempre y cuando cumplan con los requisitos de calidad de información establecidos en los siguientes literales. En caso que no exista la información de demanda requerida, se recomienda en segundo lugar la proyección de los suscriptores del servicio, con sus respectivas restricciones relacionadas con la calidad del catastro de usuarios. Como última opción y cuando no exista información de demanda o de suscriptores o ésta no sea confiable, se debe realizar la proyección de la población del municipio o de la zona objeto del diseño o del cambio en el sistema de acueducto existente.

### **2.2 Gerencia de la demanda de agua**

El diseño de un sistema de distribución de agua potable o de la ampliación de éste, se debe realizar teniendo en cuenta una gerencia de la demanda en lugar de una gerencia de la oferta. La gerencia de la demanda de agua se debe realizar dentro del concepto del manejo integral del agua urbana, como parte del manejo integral de la cuenca.

El análisis no solo debe incluir lo que la población consume o el agua utilizada para otros usos. Debe incluir también la oferta del agua y por ello, se debe tener presente la cuenca que actualmente suministre el agua y las fuentes alternas de las cuales la población podrá abastecerse. Otro estudio que debe realizarse es el de controles al consumo, de forma que se pueda racionalizar éste, en caso que no haya una oferta suficiente.

El diseño de proyectos nuevos debe priorizar la regionalización del servicio, especialmente cuando las consideraciones técnicas y de calidad del servicio demuestren que un sistema regionalizado presenta ventajas importantes sobre esquemas municipales individuales.

## 2.3 Usos del agua

Debe efectuarse un estudio de la dotación desagregada por usos y por zonas del municipio, el cual debe considerar los siguientes usos del agua:

### 2.3.1 Uso residencial

El consultor debe analizar detenidamente la dotación de uso residencial teniendo en cuenta las siguientes disposiciones:

1. El consultor debe justificar la proyección de la dotación para las diferentes etapas de construcción de las obras del sistema de acueducto y para el período de diseño de cada uno de sus componentes.
2. Debe atenderse lo estipulado en el artículo 15 de la Ley 373 de 1997, sobre uso eficiente y ahorro del agua, o la norma que la modifique, adicione o sustituya, sobre la utilización de equipos y aparatos de bajo consumo y la reglamentación que exista al respecto, considerando el uso de micromedidores de caudal, reguladores de caudal, reguladores de presión o cualquier otro tipo de accesorio que implique una reducción en el consumo.
3. El consultor debe considerar la utilización de aparatos de bajo consumo, con el fin de determinar el posible ahorro y el efecto de estos instrumentos en la dotación neta.
4. El consultor debe deducir la dotación de uso residencial para el diseño de los sistemas de acueducto con base en mediciones directas hechas en la localidad. Cuando en ésta no existan micromedidores de caudal, el consultor puede estimar la dotación por comparación de poblaciones cercanas con características similares.
5. Al hacer el estudio de la dotación por uso residencial deben tenerse en cuenta, entre otros, los siguientes factores: el tamaño de la población, las condiciones socioeconómicas, el clima, la cobertura de medidores, los aspectos sanitarios, las horas de servicio continuo, los períodos de racionamiento y demás factores que se estimen convenientes.
6. Las variaciones que sean propuestas por el consultor a las dotaciones antes establecidas deben estar técnicamente justificadas, teniendo en cuenta aspectos climatológicos y socioeconómicos del municipio.

### 2.3.2 Uso comercial

Para establecer el uso comercial, el consultor debe utilizar un censo comercial y realizar un estimativo de consumos futuros. El consultor debe

cuantificar y analizar detenidamente la dotación comercial de acuerdo con las características de dichos establecimientos. Deben estudiarse los consumos puntuales o concentrados de demandas. El uso comercial también incluye el uso en oficinas.

### 2.3.3 Uso industrial

Para estimar el uso industrial, el consultor debe utilizar censos industriales y estimativos de consumos futuros. El consultor debe cuantificar y analizar detenidamente la dotación industrial de acuerdo con las características de dichos establecimientos. Deben estudiarse los consumos puntuales o concentrados demandados con el fin de establecer los posibles grandes consumidores (Ver literal B.2.8.4).

### 2.3.4 Uso rural

En caso que el municipio objeto de la construcción de un nuevo sistema de acueducto o la ampliación del sistema de acueducto existente tenga que abastecer población rural, el consultor debe utilizar los datos del censo rural y estimar los consumos futuros.

### 2.3.5 Uso para fines públicos

El consumo para uso público utilizado en los servicios de aseo, riego de jardines y parques públicos, fuentes públicas y demás, se estimará entre el 0 y el 3% del consumo medio diario doméstico, siempre y cuando no existan datos disponibles. En caso de que estos datos existan, servirán para establecer la proyección del uso público en el municipio.

### 2.3.6 Uso escolar

En caso de que en el municipio objeto de la construcción de un nuevo sistema de acueducto o de la ampliación del sistema existente se localice una concentración escolar importante que implique la permanencia durante el día de una población adicional, el consultor debe analizar y cuantificar detenidamente la dotación de uso escolar de acuerdo con las características de los establecimientos de educación.

### 2.3.7 Uso institucional

Deben identificarse los establecimientos y predios que requieran una dotación especial debido a las características de sus actividades, tales como hospitalares, cárceles, hoteles, etc.

## 2.4 Proyección de los usuarios del sistema

### 2.4.1 Proyección de la demanda

En caso de que la persona prestadora del servicio de acueducto cuente con información confiable registrada acerca de la demanda de agua en el municipio o en partes de éste que sean objeto del diseño, se debe utilizar para proyectar la demanda de agua potable. Para poder realizar la proyección de la demanda, la persona prestadora del servicio debe contar: con aparatos de medición calibrados a la salida de la planta de tratamiento y a la entrada de cada uno de los sectores hidráulicos en que se haya dividido la red; con datos de consumo confiables que hayan sido verificados de acuerdo con el número de suscriptores y unas dotaciones normales; y con un índice de agua no contabilizada (IANC) por debajo del 20% en la zona donde se requiera medir la demanda. En este sentido, la proyección de la demanda no puede incluir pérdidas de agua e ineficiencias del sistema.

### 2.4.2 Proyección de suscriptores

En caso que no existan registros confiables acerca de la información histórica de demanda de agua en el municipio o en la parte de éste objeto del diseño o de la ampliación y/o mejora del sistema de distribución de demanda de agua, se debe llevar a cabo una proyección de los suscriptores conectados al sistema de acueducto. Para llevar a cabo el cálculo del número de suscriptores proyectados para ser abastecidos por el nuevo esquema de distribución de agua potable en su período de diseño, el diseñador y/o el operador deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- La persona prestadora del servicio debe mantener actualizado el catastro de suscriptores del servicio.
- Comportamiento histórico del crecimiento de los suscriptores de la empresa de acueducto en la zona del municipio o la parte de éste objeto del estudio, de acuerdo con la información de la persona prestadora del servicio o de otros sistemas privados o comunales cercanos a la zona objeto del diseño.
- El plan de ordenamiento territorial y el plan de desarrollo municipal, teniendo en cuenta especialmente la meta de vivienda de interés social (VIS).
- Los proyectos de oferta y demanda de la actividad edificadora en el municipio, teniendo en cuenta los datos producidos por la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), en especial lo concerniente a las viviendas del municipio y el crecimiento de las edificaciones dedicadas al comercio.

- El crecimiento de los suscriptores de otros servicios públicos tales como energía y telefonía fija.
  - La meta de crecimiento de suscriptores del sistema de agua, de la empresa de servicios públicos, teniendo en cuenta sus proyecciones de inversión.
  - Se deben evitar datos de crecimiento de suscriptores que hayan sido causados por programas de reducción de IANC, ya que éstos podrían inflar su proyección.
- Una vez establecido lo anterior, el consultor y/o la persona prestadora del servicio pueden utilizar los siguientes métodos para la proyección de los suscriptores:
- Métodos matemáticos, tales como los aritméticos y geométricos.
  - Métodos de aproximaciones sucesivas a las proyecciones de suscriptores.
  - Métodos heurísticos de ensayo y error.

## 2.4.3 Proyección de población

En caso que el diseño de un sistema de acueducto particular incluya un municipio o zona de éste, en la cual no sea posible realizar una proyección de demanda o de suscriptores, las dependencias encargadas de la planeación y comercialización de los proyectos de agua potable de la persona prestadora del servicio de acueducto o, en caso que éstas no existan, el consultor debe realizar la proyección y los ajustes de la población de acuerdo con lo señalado en literales B.2.4.3.1 a B.2.4.3.5.

En todos los casos para la estimación de la proyección de la población se deben tener en cuenta los datos establecidos para la población por el DANE, tanto para la definición del nivel de complejidad del sistema como para la proyección de la población.

El último dato de población establecido por el DANE para el municipio objeto del diseño debe tenerse en cuenta como un último censo a utilizarse para la proyección de la población.

### 2.4.3.1 Censos de población

Deben recolectarse los datos demográficos de la población, en especial los censos de población del DANE y los censos disponibles de suscriptores de acueducto y otros servicios públicos de la localidad o localidades similares. Con base en los datos anteriores se establecerán los criterios y parámetros que determinen el crecimiento de la población.

### 2.4.3.2 Censos de vivienda

Si se dispone de los censos de vivienda de la localidad, éstos deben estar acompañados de todos los datos registrados en las publicaciones correspondientes, indicando la fuente y/o el autor. Con base en los datos anteriores se obtendrá la tasa de crecimiento de la vivienda. Para verificar los datos de vivienda del último censo deben contabilizarse las casas habitadas en cada zona de la localidad, al igual que los establecimientos comerciales, industriales e institucionales.

### 2.4.3.3 Densidades actuales y futuras

Teniendo en cuenta la identificación de las zonas actuales de la población y de las zonas de expansión futuras definidas en el plan de ordenamiento territorial del municipio, la densidad actual y la densidad proyectada deben calcularse con base en la población actual y futura de dichas zonas con el objeto de verificar la expansión real del sistema de acueducto.

Deben tenerse en cuenta la distribución espacial de la población identificando los diferentes usos de la tierra, los tipos de consumidores y la distribución espacial de la demanda. En particular se deben considerar los datos referentes a las poblaciones de saturación definidas para el municipio o para zonas de éste de acuerdo con el plan de ordenamiento territorial.

Para todas las zonas de cobertura del sistema de acueducto debe verificarse que las proyecciones de la población no superen dichas densidades de saturación. Las densidades de población y la distribución espacial deben estar acordes con las normas urbanísticas, planes de desarrollo y demás programas formulados por el gobierno municipal, departamental o nacional que determinen la distribución espacial de la población, los usos de tierra y posibles servidumbres, atendiendo los planes de desarrollo territorial de acuerdo con la Ley 388 de 1997.

En caso que en el período de diseño no se llegue a la población de saturación definida en el plan de ordenamiento territorial para el municipio, la demanda de agua potable debe proyectarse, de acuerdo con el nivel de complejidad del sistema, teniendo en cuenta los períodos de diseño definidos posteriormente en este Título. Por otra parte, en caso que la población de saturación sea mayor a la población proyectada, para el período de diseño particular, en el diseño se debe utilizar la población de saturación. Si la población de saturación se alcanza en un período de tiempo menor al período de diseño, éste debe corresponder al momento en que se llegue a la población de saturación.

### 2.4.3.4 Métodos de cálculo

Para llevar a cabo la proyección de la población objeto del diseño, se deben tener en cuenta las proyecciones del DANE hasta el año en que éstas se encuentren disponibles. El último dato de población disponible en el DANE se debe tomar como un último censo en el proceso de proyección de la población.

El método de cálculo para la proyección de la población depende del nivel de complejidad del sistema según se muestra en la tabla B.2.1. Se calculará la población utilizando uno cualquiera de los siguientes modelos matemáticos: aritmético, geométrico y exponencial, seleccionando el modelo que mejor se ajuste al comportamiento histórico de la población. Los datos de población deben estar ajustados con la población flotante y la población migratoria. En caso de falta de datos se recomienda la revisión de los datos de la proyección con los disponibles en poblaciones cercanas que tengan un comportamiento similar al de la población en estudio.

**Tabla B.2.1 Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema para la proyección de la población**

Método por emplear	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, geométrico y exponencial	X	X		
Aritmético, geométrico, exponencial, otros			X	X
Por componentes (demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar densidades			X	X
Método gráfico	X	X		

**El método aritmético** supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \times (T_f - T_{uc}) \quad (\text{B. 2.1})$$

donde:

- $P_f$  = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).
- $P_{uc}$  = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).
- $P_{ci}$  = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).
- $T_{uc}$  = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.
- $T_{ci}$  = Año correspondiente al censo inicial con información.
- $T_f$  = Año al cual se quiere proyectar la información.

**El método geométrico** es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación que se emplea es:

$$P_f = P_{uc} (1+r)^{T_f - T_{uc}} \quad (\text{B. 2.2})$$

donde:

- $r$ = Tasa de crecimiento anual en forma decimal.
- $P_f$ = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).
- $P_{uc}$ = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).
- $P_{ci}$ = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).
- $T_{uc}$ = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.
- $T_f$ = Año al cual se quiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left( \frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1 \quad (\text{B. 2.3})$$

El método exponencial requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población, en donde el último censo corresponde a la proyección del DANE. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} \times e^{kx(T_f - T_{ci})} \quad (\text{B. 2.4})$$

Donde  $k$  es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}} \quad (\text{B. 2.5})$$

donde:

- $P_{cp}$ = Población del censo posterior (proyección del DANE).
- $P_{ca}$ = Población del censo anterior (habitantes).
- $T_{cp}$ = Año correspondiente al censo posterior.
- $T_{ca}$ = Año correspondiente al censo anterior.
- $\ln$ = Logaritmo natural o neperiano.

El método gráfico se utiliza principalmente cuando la información censal es insuficiente o poco confiable, lo cual hace que las proyecciones geométricas y exponenciales arrojen resultados que no corresponden con la realidad. El método gráfico consiste en comparar gráficamente la población del municipio en estudio con la de otros tres municipios del país con las siguientes características:

Uno de los municipios (población B) debe ser de la misma región, con desarrollo, clima y tamaño similar al del municipio en estudio y obviamente con información confiable en cuanto a crecimiento de la población.

El otro municipio (población C) debe ser de la misma región, con desarrollo y clima similar al del municipio en estudio (población A) pero con un número de habitantes mayor al de este municipio.

El tercer municipio (población D) debe ser de otra región del país con un número de habitantes mayor al del municipio en estudio (población A) y con un desarrollo y clima similar.

**Métodos demográficos.** Cuando el tamaño de la población, las condiciones demográficas, el crecimiento de la población no continuo o las condiciones externas que generen períodos demográficos cambiantes en el tiempo requieran la utilización de métodos de cálculo de población diferentes a los presentados en la tabla B.2.1, otros métodos podrán ser empleados bajo la aprobación de la persona prestadora del servicio y la opinión de expertos en estudios demográficos.

Para la estimación de la población, en los estudios de planeamiento de servicios para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, se considera una buena práctica realizar estudios demográficos detallados conducidos por profesionales en la demografía. Métodos como el de los componentes demográficos, que analiza la variación en el tiempo de parámetros como la natalidad, la mortalidad, la emigración y la inmigración, son de gran utilidad y confiabilidad para obtener un sustento sólido a las proyecciones de población que permita una adecuada estimación de la demanda de los servicios.

El método de la tasa decreciente de crecimiento, supone que la población tiene un límite de saturación y su tasa de crecimiento es una función de su déficit de población. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$P_f = S - (S - P_2) \times e^{-Kd(t-t_1)} \quad (\text{B. 2.6})$$

donde Kd es la constante de la tasa decreciente de crecimiento, la cual se calcula a partir de censos sucesivos mediante la siguiente ecuación.

$$K_d = \frac{-\ln \left[ \frac{S - P_2}{S - P_1} \right]}{t_2 - t_1} \quad (\text{B. 2.7})$$

donde:

$P_f$  = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

- S = Población de saturación (habitantes).  
 P<sub>1</sub> = Población en el censo 1 (habitantes).  
 P<sub>2</sub> = Población en el censo 2 (habitantes).  
 t = Año correspondiente a la población de saturación.  
 t<sub>1</sub> = Año correspondiente al censo 1.  
 t<sub>2</sub> = Año correspondiente al censo 2.

### 2.4.3.5 Ajuste por población flotante y población migratoria

Debe ajustarse la proyección de la población para tener en cuenta la población flotante, de acuerdo con los estudios socioeconómicos disponibles para la población. En el cálculo de la población por abastecer se deben considerar actividades turísticas, laborales, industriales y/o comerciales que representen población flotante.

En el caso que existan posibilidades de migración hacia el municipio, ésta debe tenerse presente en los estudios de proyección de la población.

En el caso que no existan datos, el consultor debe proyectar la población utilizando alguna metodología especial establecida de común acuerdo con la entidad contratante.

### 2.4.3.6 Etnias minoritarias

En el caso que en el municipio objeto de la construcción o ampliación de un sistema de acueducto exista una etnia minoritaria, la proyección de la población de ésta debe ser objeto de un estudio individual detallado.

## 2.5 Dotación neta

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un suscriptor o de un habitante, dependiendo de la forma de proyección de la demanda de agua, sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto.

### 2.5.1 Dotación neta por suscriptores

En aquellos casos en que se tenga la información necesaria, en la persona prestadora del servicio de acueducto o en el sistema único de información (SUI) de la SSPD, para hacer la proyección de suscriptores en el municipio o en la parte de éste objeto del diseño, el consultor y/o la persona prestadora del servicio deben conocer el valor existente sobre consumo promedio por suscriptor. En caso de que no se cuente con datos históricos sobre consumos de agua potable por los suscriptores, el consultor debe utilizar la dotación por suscriptor establecida en la siguiente tabla:

**Tabla B.2.2 Dotación por suscriptor según el nivel de complejidad del sistema**

Nivel de complejidad del sistema	Dotación por suscriptor (m <sup>3</sup> /sus•mes ) climas templado y frío	Dotación por suscriptor (m <sup>3</sup> /sus•mes ) clima cálido
Bajo	10.8	12.0
Medio	13.8	15.0
Medio alto	15.0	16.2
Alto	16.8	18.0

Para propósitos de la tabla anterior se considera como clima cálido aquella zona del territorio nacional que se encuentre por debajo de 1000 m.s.n.m.

Siempre que existan datos históricos confiables sobre el municipio, la dotación neta para el diseño de un nuevo sistema de acueducto o la ampliación de un sistema existente debe basarse en el análisis de los datos de consumo de agua medidos. En este caso la metodología para estimar la dotación neta deberá cubrir los siguientes pasos en orden secuencial:

1. Investigar si para la facturación de consumos de agua en el sistema, se tienen instalados macromedidores a la entrada de cada uno de los sectores hidráulicos de la red y si el nivel de micromedición es mayor que el 80%; si estos se tienen, se deben conseguir registros históricos de consumos para los diferentes usos del agua, durante por lo menos un año y estos no deben tener una antigüedad mayor que 3 años.

Se debe indagar si la información obtenida ya fue objeto de análisis y crítica para descartar aquella proveniente de micromedidores en mal estado de funcionamiento. Si este proceso no se ha realizado se debe analizar en detalle y depurar la información eliminando aquellos valores de consumo, que por ser supremamente bajos o altos indiquen deficiencia en la medida o en la lectura.

2. Verificar las condiciones operativas del sistema de suministro de agua durante el período de análisis de los consumos, para constatar que los usuarios medidos tuvieron pleno abastecimiento.

En un sistema en el que exista racionamiento, el consumo medido no es el mejor estimativo de las necesidades reales de un usuario que corresponde a la dotación neta.

3. Optar por instalar algunos micromedidores en acometidas de los usuarios representativos de los principales usos que tenga el agua, si en el municipio en cuestión no existe medición detallada de consumos de agua.

## 2.5.2 Dotación neta por habitante

En caso de que se opte por la última opción para el cálculo de la demanda de agua, la cual corresponde a la proyección de la población, la dotación neta por habitante es función del **nivel de complejidad del sistema** y sus valores máximos se deben establecer con la tabla B.2.3 mostrada a continuación.

**Tabla B.2.3 Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema**

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta (L/hab•día ) climas templado y frío	Dotación neta (L/hab•día ) clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Para propósitos de la tabla anterior se considera como clima cálido aquella zona del territorio nacional que se encuentre por debajo de 1000 m.s.n.m.

En el caso de ampliaciones o extensiones a sistemas de acueducto, la dotación neta debe fijarse con base en el análisis de los datos de producción y consumo del sistema sin incluir las pérdidas de agua potable. La dotación debe obtenerse del consumo medio diario por habitante registrado por un año (Ver el literal B.2.8.3.1).

En aquellos municipios en los que sea evidente una carencia notable del recurso agua, el consultor puede tener en cuenta dotaciones por habitante netas inferiores a las establecidas en la tabla B.2.3. En este caso el consultor debe realizar y guardar un informe que justifique tal decisión, con el fin de ser enviado, en caso de ser requerido, a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

## 2.5.3 Dotación neta según el uso del agua

En la evaluación de las dotaciones netas de agua para un municipio, se pueden tener dotaciones diferentes para cada uno de los usos de agua que existan en el municipio: residencial, comercial, industrial, institucional, fines públicos, escuelas y usos en zonas rurales anexas al municipio. Todos estos deben considerarse en las dotaciones y en las demandas de agua, tanto actuales como proyectadas. Sin embargo, para aquellos sistemas de acueducto donde los consumos del uso residencial representen más del 90% del consumo total de agua potable, el cálculo de agua se puede realizar teniendo en cuenta únicamente la dotación neta residencial sumándole a ésta un porcentaje que tenga en cuenta los otros usos en forma agrupada según los datos de consumo existentes. En caso contrario, el cálculo de la demanda de agua potable debe realizarse en forma desagregada para cada uno de los usos principales y para cada uno de ellos el consultor y/o la persona prestadora del servicio deben determinar las dotaciones netas, teniendo en cuenta lo establecido en los siguientes literales.

### 2.5.3.1 Uso comercial

Para aquellas zonas del municipio en donde se tenga un uso comercial de agua, se deben tener en cuenta las dotaciones mostradas en la tabla B.2.4.

Tabla B.2.4 Consumo mínimo en comercios

Tipo de instalación	Consumo de agua
Oficinas (cualquier tipo)	20 L/m2/día
Locales comerciales	6 L/m2/día
Mercados	100 L/local/día
Lavanderías de autoservicio	40 L/kilo de ropa seca
Clubes deportivos y servicios privados	150 L/asistente/día
Cines y teatros	6 L/asistente/día

### 2.5.3.2 Uso industrial

En caso que en el municipio, en la zona objeto del diseño o en la expansión de un sistema de agua potable, exista uso industrial, se deben tener en cuenta las dotaciones establecidas en la tabla B.2.5 mostrada a continuación.

Tabla B.2.5 Consumo de servicio para personal en las industrias

Tipo de instalación	Consumo de agua (L/trabajador/jornada)
Industrias donde se manipulen materiales y sustancias que ocasionen desaseo.	100
Otras industrias	30

Nota: El consumo para el proceso se obtiene para cada caso particular .

Adicionalmente, en caso que en la zona del municipio objeto del diseño se tengan discriminados los tipos de industria, se deben utilizar las dotaciones establecidas en la tabla B.2.6 mostrada a continuación.

Tabla B.2.6 Consumos para producción de algunos tipos de industria

Industria	Rango de consumo (m <sup>3</sup> /día)
Azucarera	4.5 – 6.5
Química (a)	5.0 – 25.0
Papel y celulosa (b)	40.0 – 70.0
Bebidas (c)	6.0 – 17.0
Textil	62.0 – 97.0
Siderúrgica	5.0 – 9.0
Alimentos (d)	4.5 – 5.0

Notas: a) Variables de acuerdo con el producto.

b) Se indican sólo los índices de celulosa.

c) Se tomó como representativa la cerveza.

d) Se tomó como representativa la industria de alimentos lácteos.

### 2.5.3.3 Uso rural

En aquellos casos en que el sistema de acueducto de una cabecera municipal incluya el abastecimiento de agua potable a centros poblados rurales cercanos, el consultor o la persona prestadora del servicio deben utilizar los datos del censo rural para dichos centros con el fin de estimar los consumos futuros del agua potable.

### 2.5.3.4 Uso para fines públicos

Con el fin de incluir el consumo de agua potable para fines públicos, se debe tener en cuenta lo establecido en el literal B.2.3.3, en el cual se establece que en el caso de uso de agua potable para zonas públicas en los servicios de aseo, riego de jardines y parques públicos, fuentes públicas y demás, el consultor debe incluir una demanda de agua adicional estimada entre el 0 y el 3% de consumo medio diario doméstico, siempre y cuando no existan datos disponibles. En el caso de otros consumos para fines públicos se recomienda tener en cuenta las dotaciones establecidas en la tabla B.2.7.

**Tabla B.2.7 Consumos para fines públicos**

Tipo de instalación	Consumo de agua
Entretenimiento (teatros públicos)	6 L/asiento/día
Deportes al aire libre, con baño y vestidores	150 L/asistente/día
Recreación social (deportivos municipales)	25 L/asistente/día

### 2.5.3.5 Uso escolar

En aquellos casos en que la zona del municipio objeto del diseño incluya la localización de edificaciones destinadas al uso de actividades docentes y académicas, se deben tener en cuenta las dotaciones establecidas en la tabla B.2.8.

**Tabla B.2.8 Consumo para uso escolar**

Tipo de instalación	Consumo de agua
Educación elemental	20 L/alumno/jornada
Educación media y superior	25 L/alumno/jornada

### 2.5.3.6 Uso institucional

Las dotaciones máximas para el uso institucional del agua potable, que deben tenerse en cuenta por parte del consultor y/o la persona prestadora del servicio se establecen en la tabla B.2.9 y en la tabla B.2.10 mostradas a continuación.

Tabla B.2.9 Consumo institucional

Tipo de instalación		Consumo de agua
Salud	Hospitales, clínicas y centros de salud	800 L/cama/día
	Orfanatos y asilos	300 L/huésped/día
Seguridad	Cuartellos	150 L/persona/día
	Cárceles	150 L/interno/día

Tabla B.2.10 Consumo en hoteles

Clasificación	Consumos en hoteles (L/cuarto/día)			
	Municipios Turísticos		Otros municipios	
	Climas templado y frío	Clima cálido	Climas templado y frío	Clima cálido
Gran turismo	1200	2000	600	1000
4 y 5 estrellas	900	1500	450	750
1 a 3 estrellas	600	1000	300	400

## 2.5.4 Estimación de la dotación neta por comparación con barrios, sectores o municipios similares

En caso que no existan datos en el municipio para el diseño de un nuevo sistema de acueducto o la ampliación del sistema de acueducto existente, los cálculos necesarios para estimar la dotación neta deben realizarse teniendo en cuenta los datos de poblaciones similares. El consultor debe tener en cuenta los siguientes aspectos para la elección de las poblaciones similares: temperatura media, hidrología, tamaño de la población, localización geográfica, nivel socioeconómico, tamaño del sector comercial y tamaño del sector industrial, entre otros.

Como última opción y cuando no es factible apelar a ninguno de los métodos anteriores se debe recurrir a asignar con criterio una dotación neta a cada uso del agua. Para el caso de la dotación neta residencial esta asignación debe realizarse dentro de los valores máximos descritos en el literal B.2.5.2.

## 2.6 Pérdidas de agua en el sistema de acueducto

Las pérdidas de agua en el sistema de acueducto corresponden a la diferencia entre el volumen de agua tratada y medida a la salida de las plantas potabilizadoras y el volumen de agua entregado a la población y que ha sido medido en las acometidas domiciliarias del municipio.

De acuerdo con sus características, las pérdidas se clasifican en dos grandes grupos: físicas ó técnicas y comerciales.

## 2.6.1 Pérdidas técnicas en el sistema de acueducto

Incluyen las fugas en tuberías y accesorios y en estructuras, como reboses en tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento, etc. Por lo general estas se subdividen en visibles y no visibles.

Para establecer el porcentaje de pérdidas físicas deben tenerse en cuenta los datos registrados disponibles en el municipio o en la persona prestadora sobre pérdidas de agua en el sistema de acueducto desde las plantas potabilizadoras, incluidos los consumos requeridos para las operaciones en la red de distribución.

## 2.6.2 Pérdidas comerciales en la red de distribución

Las pérdidas comerciales son aquellas relacionadas con el funcionamiento comercial y técnico de la persona prestadora del servicio. Estas pérdidas incluyen las conexiones fraudulentas, los suscriptores que se encuentren por fuera de las bases de datos de facturación de la empresa y los caudales dejados de medir por imprecisión o deficiente operación de los micromedidores domiciliarios.

Para propósitos de diseño de un nuevo sistema de acueducto o la parte nueva de uno existente, el porcentaje de pérdidas comerciales admisibles en la red de distribución debe ser como **máximo el 7%**. En caso de que la demanda de agua se haya calculado con base en la proyección de suscriptores, dicho porcentaje debe incluirse en el cálculo del caudal de diseño. En aquellos casos en que la demanda se haya calculado con base en la proyección de la población o número de habitantes, las pérdidas comerciales no deben tenerse en cuenta para el cálculo de los caudales de los sistemas de acueducto.

## 2.6.3 Reducción del nivel de pérdidas

El indicador normalmente utilizado para revisar el nivel de pérdidas es el índice de agua no contabilizada (IANC) que relaciona el volumen total de agua que se suministra a las redes con el volumen total de agua que se factura a los usuarios de éstas en un periodo determinado, expresado en porcentaje.

En aquellos casos en que el IANC, en el momento de iniciar un proyecto que involucre el abastecimiento de agua potable, supere los valores establecidos en el reglamento, el planteamiento del proyecto tiene que incluir el desarrollo e implementación de un programa de reducción del nivel de pérdidas técnicas y comerciales. En todo municipio se debe priorizar el programa de reducción de pérdidas a la ampliación o expansión de cualquier componente del sistema de abastecimiento cuando el IANC sea superior a dichos límites.

Los programas de reducción del nivel de pérdidas técnicas y comerciales, conocidos como programas de agua no contabilizada, exigen de la elaboración de un diagnóstico técnico por componentes del sistema, que incluye recopilación de trabajo técnico y operativo, trabajos de campo y definición de actividades de plan de choque; así mismo, debe realizarse un diagnóstico sobre los aspectos institucionales, legales, administrativos, financieros y comerciales que permitan elaborar un balance de aguas para llegar a la formulación del plan de reducción de pérdidas. Parte importante de la elaboración de estos diagnósticos, consiste en mantener actualizados de forma permanente los catastros de redes y de usuarios del sistema de acueducto.

En lo posible, la persona prestadora debe establecer control de medición de este tipo de programas, que deben formar parte permanente de las actividades de operación y mantenimiento de la infraestructura, en lo que respecta a las pérdidas físicas. La reducción del nivel de pérdidas en un sistema, redundante en la optimización y buen comportamiento de toda la infraestructura.

## 2.7 Dotación bruta

De acuerdo con la Resolución 2320 de 2009 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la dotación bruta para el diseño de cada uno de los elementos que conforman un sistema de acueducto, indistintamente del nivel de complejidad, se debe calcular teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \% p} \quad (\text{B. 2.8})$$

Donde:

$d_{bruta}$ : dotación bruta

$d_{neta}$ : dotación neta

$\% p$ : pérdidas máximas admisibles

El porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25%.

## 2.8 Cálculo de la demanda de agua

### 2.8.1 Proyección de la demanda de agua

Para llevar a cabo la proyección de la demanda de agua, en el municipio o en parte de éste, la persona prestadora del servicio de acueducto debe contar con datos de demanda de los últimos 10 años con una frecuencia bimestral, con esta información se debe hacer un análisis estadístico detallado con el fin de encontrar la curva que mejor ajuste el crecimiento de la demanda de agua en ese período. Una vez realizado el análisis, se debe proceder a proyectar la demanda de agua, siguiendo la

misma curva, hasta el último año del período de diseño. En este caso, adicionalmente, es necesario cotejar dicha proyección de la demanda de agua con la demanda de agua requerida para la población de saturación, de acuerdo con el plan de ordenamiento territorial, para el municipio o la zona del municipio objeto del diseño.

## 2.8.2 Demanda de agua por suscriptores

### 2.8.2.1 Caudal medio diario

El caudal medio diario,  $Q_{md}$ , corresponde al promedio de los consumos diarios de caudal en un período de un año, proyectado al horizonte de diseño, el cual debe calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{\text{No.suscriptores} \times d_{bruta}}{30} \quad (\text{B. 2.9})$$

Donde:

$Q_{md}$ : caudal medio diario

$d_{bruta}$ : dotación bruta, dada en metros cúbicos/suscriptor mes  
En esta ecuación 30 representa el número de días en el mes.

### 2.8.2.2 Caudal máximo diario

El caudal máximo diario,  $QMD$ , corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario,  $k_1$ , como se indica en la siguiente ecuación:

$$QMD = Q_{md} \times k_1 \quad (\text{B. 2.10})$$

Donde:

$QMD$ : caudal máximo diario

$Q_{md}$ : caudal medio diario

$k_1$ : coeficiente de consumo máximo diario

El coeficiente de consumo máximo diario,  $k_1$ , se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un período mínimo de un año.

En caso de sistemas nuevos, el valor del coeficiente de consumo máximo diario,  $k_1$ , será 1.30.

### 2.8.2.3 Caudal máximo horario

El caudal máximo horario,  $QMH$ , corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el

caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario,  $k_2$ , según la siguiente ecuación:

$$QMH = QMD \times k_2 \quad (\text{B. 2.11})$$

Donde:

$QMH$ : caudal máximo horario

$Q_{md}$ : caudal medio diario

$K_2$ : coeficiente de consumo máximo horario

El coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario,  $k_2$ , puede calcularse, para el caso de ampliaciones o extensiones de sistemas de acueducto, como la relación entre el caudal máximo horario,  $QMH$ , y el caudal máximo diario,  $QMD$ , registrados durante un período mínimo de un año, sin incluir los días en que ocurran fallas relevantes en el servicio.

En el caso de sistemas de acueductos nuevos, el coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario,  $k_2$ , corresponde a un valor comprendido entre 1.3 y 1.7 de acuerdo con las características locales.

## 2.8.3 Demanda de agua por población

### 2.8.3.1 Caudal medio diario

El caudal medio diario,  $Q_{md}$ , es el caudal calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{p \times d_{bruta}}{86400} \quad (\text{B. 2.12})$$

En este caso,  $p$  representa el número de habitantes proyectado y la dotación bruta debe estar dada en L/hab•día.

### 2.8.3.2 Caudal máximo diario

Para el cálculo del caudal máximo diario correspondiente a las proyecciones de población, se debe tener en cuenta lo establecido en el literal B. 2.8.2.2.

### 2.8.3.3 Caudal máximo horario

Para el cálculo del caudal máximo horario en aquellos casos en que se utilice la proyección de población, se debe tener en cuenta lo establecido en el literal B.2.8.2.3.

## 2.8.4 Gran consumidor

De acuerdo con lo establecido en el artículo 17 del Decreto 302 del 2000, y la Resolución 151 de 2001 de la Comisión de Regulación Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), se define como gran consumidor de un sistema de acueducto todo aquel suscriptor que durante 6 meses continuos supere en consumo los 1000 metros cúbicos mensuales.

Si embargo para el nivel de complejidad del sistema medio se recomienda que a aquel consumidor que durante los últimos seis meses tenga un consumo superior a los 500 m<sup>3</sup>/mes se le de un tratamiento de gran consumidor, para el nivel de complejidad del sistema bajo, esta recomendación aplica cuando dicho valor sea superior a 300 m<sup>3</sup>/mes.

## 2.8.5 Curva de variación horaria de la demanda

Para todos los niveles de complejidad del sistema debe construirse la curva de demanda que defina la variación del consumo a lo largo del día, con el fin de establecer la necesidad y la magnitud de un posible almacenamiento.

Para el nivel de complejidad del sistema bajo los datos para elaborar las curvas de demanda horarias de cada población o zona abastecida pueden pertenecer a la localidad en estudio o a una localidad que presenta características semejantes, en términos de nivel socioeconómico, de costumbres y de clima.

Para los niveles de complejidad del sistema medio, medio alto y alto debe contarse con curvas de demanda horarias de cada población o zona abastecida.

Una vez que la persona prestadora del servicio haya establecido su curva de demanda, ésta podrá utilizarse para calcular los coeficientes de mayoración  $k_1$  y  $k_2$  de los literales B.2.8.2.2. y B.2.8.2.3 para sus futuros proyectos de acueducto.

## 2.9 Caudal de incendios

Para la definición de los caudales de incendio, el diseño debe tener en cuenta la distribución predial de la zona a ser abastecida, estableciendo las zonas residenciales, las zonas residenciales de alta densidad, las zonas comerciales y/o las zonas industriales. Para cada una de ellas se debe definir el número de hidrantes y su localización (Ver literales B.7.7.12.4 y B.7.7.12.5) además de su caudal unitario (Ver literal B.7.7.12.2).

### 2.9.1 Demanda mínima contra incendios para el nivel de complejidad del sistema bajo y medio

Para poblaciones correspondientes a los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, el consultor debe justificar si la protección contra incendio se considera necesaria.

Sin embargo, se tendrá en cuenta que la presión requerida para la protección contra incendios puede obtenerse mediante el sistema de bombas del equipo del cuerpo de bomberos y no necesariamente de la presión en la red de distribución. Además, deben considerarse las siguientes especificaciones:

1. Los hidrantes se instalarán preferiblemente en las tuberías matrices con la capacidad para conducir al menos 5 L/s y descargarán un caudal mínimo de 5 L/s.
2. Se recomienda una distancia máxima de 300 m entre los hidrantes. La disposición final de los hidrantes debe ser recomendada por el diseñador de acuerdo con las exigencias de la zonificación urbana.

## 2.9.2 Demandas mínimas contra incendios para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto

La demanda mínima contra incendios debe estimarse teniendo en cuenta las siguientes especificaciones:

1. Para municipios con una población menor a 20.000 habitantes, cualquier incendio, independiente del uso de la zona en que ocurra debe ser atendido por un hidrante con un caudal mínimo de 5 L/s.
2. Para municipios con poblaciones entre 20.000 y 60.000 habitantes, los incendios que ocurran en zonas residenciales densamente pobladas o zonas con edificios multifamiliares, comerciales e industriales deben ser servidos por tres hidrantes, bajo uso simultáneo, cada uno de ellos con un caudal mínimo de 5 L/s. Los incendios en las zonas residenciales unifamiliares deben ser servidos por un solo hidrante con un caudal mínimo de 5 L/s.
3. Para municipios con poblaciones entre 60.000 y 100.000 habitantes, los incendios que ocurran en zonas residenciales densamente pobladas o zonas con edificios multifamiliares, comerciales e industriales deben ser servidos por tres hidrantes, bajo uso simultáneo, cada uno de ellos con un caudal mínimo de 5 L/s. Los incendios en las zonas residenciales unifamiliares deben ser servidos por dos hidrantes en uso simultáneo, cada uno con un caudal mínimo de 5 L/s.
4. Para municipios con más de 100.000 habitantes, los incendios que ocurran en zonas residenciales densamente pobladas o zonas con edificios multifamiliares, comerciales e industriales deben ser servidos por cuatro hidrantes, bajo uso simultáneo, cada uno de ellos con un caudal mínimo de 10 L/s. Los incendios en las zonas residenciales unifamiliares deben ser servidos con dos hidrantes en uso simultáneo, cada uno con un caudal mínimo de 10 L/s.

## TÍTULO B

### FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

# **3. FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA**

## **3.1 Alcance**

En este capítulo se establece el procedimiento que debe seguirse y los criterios básicos que deben tenerse en cuenta para la aceptación de una fuente de abastecimiento de agua para un sistema de acueducto.

Las prescripciones establecidas en el presente capítulo deben aplicarse a los cuatro niveles de complejidad del sistema a menos que se especifique lo contrario.

Se consideran fuentes de abastecimiento todas las aguas provenientes de cursos o cuerpos superficiales o subterráneos. También pueden considerarse como fuentes, en casos excepcionales, las aguas lluvias y el agua de mar.

Es recomendable en cualquier proyecto de acueducto, evaluar la posibilidad de utilizar aguas subterráneas, teniendo en cuenta las ventajas de esta alternativa frente a las aguas superficiales en términos de costos, vulnerabilidad frente a contaminación o problemas de suelos.

## **3.2 Consideraciones generales**

Cuando se efectúen los estudios de fuentes deben identificarse, plantearse y evaluarse las alternativas técnico-económicas más factibles de utilización, aplicando un análisis financiero y de factibilidad para la identificación y selección de la fuente más conveniente.

La selección de la fuente debe realizarse basándose en la calidad del agua, la ocurrencia de eventos de sequía y escogiendo aquella que permita la construcción de una captación económica, segura, confiable y que tenga unas características de acceso, operación y mantenimiento fáciles.

Además, deben efectuarse estudios con el fin de minimizar los impactos sobre el medio ambiente, el ecosistema y el hábitat natural de diferentes especies, que puedan producir las obras de la captación. En particular, se debe conocer el caudal ecológico en la fuente de agua definido por la Autoridad Ambiental competente para la estimación de la capacidad utilizable de la fuente.

## **3.3 Aspectos ambientales**

### **3.3.1 Cumplimiento normas ambientales**

Se debe proponer acciones y mecanismos para garantizar la protección de las fuentes hacia el futuro. Se debe cumplir la normatividad vigente en materia ambiental Decreto-Ley 2811 de 1974, Ley 99 de 1993 y sus decretos reglamentarios. En los literales siguientes se hace referencia a algunas de las obligaciones establecidas en la normatividad ambiental.

### 3.3.2 Pago de tasas ambientales

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 42 y 43 de la Ley 99 de 1993, en concordancia con el artículo 164 de la Ley 142 de 1994, el prestador del servicio de acueducto debe cancelar a la autoridad ambiental competente, la tasa por uso del agua.

### 3.3.3 Inversión del 1%

Se debe realizar la inversión del 1% siempre y cuando cumpla con las condiciones establecidas en el Decreto 1900 de 2006, dicha inversión se realizará conforme lo establece el mencionado decreto en su artículo 5.

### 3.3.4 Concesiones de aguas

De conformidad con el Decreto 1541 de 1978, se debe obtener previamente a la realización del proyecto la concesión de agua por parte de la autoridad ambiental competente. En caso que se requiera una presa, represa o embalse se deberá contar con la licencia ambiental, según el Decreto 2820 de 2010.

Igualmente se deberá contar con las demás autorizaciones que se requieran para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, tales como el permiso de vertimientos, permiso de emisiones atmosféricas, aprovechamientos forestales, entre otros.

### 3.3.5 Compra de tierras

Para el caso de las fuentes de abastecimiento de agua para los sistemas de acueducto municipales o regionales, los municipios ya sea individualmente o en conjunto cuando se abastezcan de la misma fuente, deben establecer y ejecutar un programa de compra de tierras en la cuenca abastecedora de agua, como parte de los programas de construcción y expansión de los sistemas de abastecimiento de agua potable. Se debe priorizar la compra de tierras desde las partes altas de la cuenca hacia las partes bajas de la cuenca, es decir, desde aguas arriba hacia aguas abajo en el caso en que dicha fuente sea una corriente superficial.

Para la adquisición prioritaria de zonas de manejo especial y áreas de influencia de nacimientos para su protección y conservación se deben utilizar los criterios establecidos por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial y por la Autoridad Ambiental competente.

## 3.4 Fuentes superficiales

Para propósitos de este Título, se consideran fuentes superficiales los ríos, quebradas, lagos, lagunas y embalses de almacenamiento y excepcionalmente aguas lluvias y agua de mar.

### 3.4.1 Estudios previos

Para la selección y el desarrollo de una fuente superficial de agua, el consultor debe desarrollar o recopilar los siguientes estudios:

#### 3.4.1.1 Concepción del proyecto

Para la selección de la fuente superficial debe tenerse en cuenta la calidad del agua de esta, tanto físicoquímica como microbiológica, y la facilidad de construcción, de manera que se tenga una obra de costo mínimo. Se debe analizar todas las alternativas técnico-económicas y ambientales factibles.

#### 3.4.1.2 Estudio de la demanda

Para determinar la confiabilidad de una fuente superficial, el consultor debe realizar los estudios de demanda a que se hace referencia en el capítulo B.2 de este Título.

Las fuentes de abastecimiento deben suministrar el consumo de la población determinado por el caudal máximo diario. Además, el consultor debe tener en cuenta los otros usos de las fuentes de abastecimiento incluyendo el caudal ecológico (literal B.3.4.2.5).

#### 3.4.1.3 Aspectos generales de la zona de la fuente

Con el fin de establecer los aspectos generales de la fuente de abastecimiento, el consultor debe localizar las obras públicas y privadas existentes en las zonas aledañas a la fuente que puedan afectar o ser afectadas por el proyecto de acueducto, debe conocer el tipo de cultivos, haciendo énfasis en los posibles usos de agroquímicos, debe localizar las posibles fuentes de contaminación, sitios de descarga o arrastre de materias orgánicas, aguas residuales domésticas o aguas residuales industriales, teniendo en cuenta el mapa de riesgo de calidad del agua.

El consultor también debe conocer la vulnerabilidad de la cuenca abastecedora en términos de aseguramiento de caudales a todo lo largo del año y de los posibles picos de turbiedad que se puedan presentar en épocas de invierno.

#### 3.4.1.4 Estudios topográficos

El consultor debe contar con toda la información topográfica del área de la fuente; dicha topografía debe incluir, como mínimo, información detallada hasta

200 m. aguas arriba del sitio de captación. Entre otros aspectos, esta información debe incluir los planos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi en escala 1:20000, 1:5000 o 1:2000, las placas de referencia con cotas y coordenadas para los levantamientos, las fotografías aéreas de la zona aledaña a la fuente, los planos aerofotogramétricos de la región y los planos de catastro de instalaciones de sistemas de infraestructura, como carreteras, líneas de transmisión, oleoductos, industrias, etc.

### 3.4.1.5 Condiciones geológicas y geotécnicas

El consultor debe tener en cuenta la siguiente información: Nivel de amenaza sísmica en la zona de la fuente, cortes transversales geológicos, fallas geológicas en las áreas circundantes al proyecto y estudios neotectónicos en el área de la fuente.

Con respecto a la geotecnia, el consultor debe tener en cuenta o realizar los siguientes estudios: Mecánica de suelos, permeabilidad del suelo y del subsuelo y características químicas del suelo y de las capas de agua para establecer la agresividad de éstos sobre los materiales que se emplearán en las obras civiles de la captación.

### 3.4.1.6 Estudios hidrológicos

El consultor debe tener en cuenta los siguientes estudios hidrológicos: precipitación pluvial, escorrentía superficial, infiltración, evaporación, transpiración, etc. También debe tener en cuenta el resultado de estudios climatológicos que comprendan datos sistemáticos sobre intensidad y dirección de los vientos, intensidad de temperaturas máximas, medias y mínimas mensuales.

También debe conocer las características hidrográficas de la cuenca, datos, informaciones o estimaciones acerca de los niveles de agua máximo y mínimo de la fuente en el lugar donde se construirá la captación, si es posible, con la indicación de los períodos de retorno más probables.

Es preferible que los datos de caudales y niveles de la fuente sean obtenidos de una estación limnimétrica ubicada en el mismo sitio de la captación.

Igualmente, deben establecerse curvas de excedencia del caudal medio diario y el caudal máximo en épocas de creciente, con base en los registros de estaciones limnimétricas ubicadas en la cuenca en estudio.

El consultor también debe conocer la batimetría del área en donde quedará localizada la captación.

### 3.4.1.7 Estudios ambientales

Deben efectuarse los estudios ambientales a que haya lugar para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables. Para tal fin deberá dirigirse a la autoridad ambiental competente para que le suministre la información sobre

este tema. Si la captación implica la construcción de presas, represas o embalses, se requiere obtener previamente a la realización del proyecto, obra o actividad, la licencia ambiental como se especifica en el Decreto 2820 de 2010 “Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales”, o la norma que lo modifique, sustituya o adicione.

### 3.4.1.8 Fenómeno Recurrente del Pacífico (Fenómeno del Niño)

Debe considerarse la variación en el rendimiento de la fuente debido a los efectos producidos por la ocurrencia del Fenómeno Recurrente del Pacífico. En los años de ocurrencia de este fenómeno, la fuente debe proporcionar el caudal requerido según los literales B.3.4.2.4 y B.3.4.2.5 y debe asegurarse continuidad en el servicio.

### 3.4.1.9 Características de las posibles fuentes

El consultor debe conocer las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas de las posibles fuentes. Con el fin de asegurar la calidad del agua en ésta, las muestras para análisis deben extraerse durante las épocas de caudales pico, ya sea el caudal mínimo mensual o el caudal máximo mensual, en todos los posibles sitios de ubicación de las obras de captación y en los afluentes importantes localizados en las cercanías, aguas arriba del sitio de la captación. Para la toma de muestras, el consultor debe tener en cuenta el mapa de riesgo de la calidad del agua como lo establece el Decreto 1575 de 2007.

### 3.4.1.10 Transporte y comunicaciones

Antes de iniciar cualquier proyecto de diseño, construcción o ampliación de un sistema de acueducto, es necesario conocer y establecer toda la infraestructura de comunicaciones y de transporte en el municipio objeto del proyecto. En particular se deben conocer todos los caminos, carreteras, aeropuertos, ferrocarriles, telecomunicaciones, etc. Adicionalmente en este estudio deben quedar establecidas todas las facilidades existentes para la construcción, mantenimiento y operación de los sistemas de agua potable.

### 3.4.1.11 Suministro de energía eléctrica

Como parte de los estudios previos, se debe establecer la disponibilidad de energía eléctrica en las áreas en las cuales se van a desarrollar los proyectos de sistemas de acueducto o partes componentes de este, especialmente en las fuentes de abastecimiento donde se vaya a captar el agua mediante sistemas de bombeo o sistemas donde se requiera realizar mediciones de caudal en tiempo real.

## 3.4.2 Características de la fuente

Para proceder a la elección de un nuevo sistema de captación, el consultor debe analizar y evaluar la información existente disponible por parte de la persona prestadora y la autoridad ambiental competente, sobre los siguientes aspectos, entre otros: rendimiento de la cuenca, seguridad de la calidad del agua, continuidad y caudal mínimo en épocas de sequía y caudal ecológico.

### 3.4.2.1 Calidad del agua de la fuente

La calidad del agua de la fuente debe caracterizarse de la manera más completa posible para poder identificar el tipo de tratamiento que necesita y los parámetros principales de interés en período seco y de lluvia. Si es un acueducto, debe cumplir con los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano establecidos en el artículo 38 del Decreto 1541 de 1978 o la norma que la modifique, adicione o sustituya. Los análisis de laboratorio y los muestreos deben realizarse de acuerdo con la normatividad vigente o en su ausencia, según lo señalado en la NTC-ISO 5667.

En la tabla 3.1 se presenta la clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros mínimos de análisis físico-químicos y microbiológicos, y el grado de tratamiento asociado.

Tabla B. 3.1 Calidad de la fuente

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de contaminación			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
<b>DBO 5 días</b>	3630					
Promedio mensual mg/L			<1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
<b>Coliformes totales (NMP/100 mL)</b>						
Promedio mensual		D-3870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	>5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	>=4	>=4	>=4	<4
PH promedio	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	<2	2 - 40	40 - 150	>= 150
Color verdadero (UPC)			<10	10 -20	20 - 40	>= 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de contaminación			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	<1.2	<1.2	<1.2	>1.7
<b>GRADO DE TRATAMIENTO</b>						
Necesita un tratamiento convencional		NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI	
Necesita unos tratamientos específicos		NO	NO	NO	SI	
Procesos de tratamiento utilizados		(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación + Filtración Rápida] o [Filtración Lenta diversas etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos	

La tabla B. 3.2 muestra algunos valores máximos admisibles de las normas microbiológicas, físicas y químicas de la calidad del agua potable que, de acuerdo con el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007, expedidos por los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se deben cumplir en todo el territorio nacional en la red de distribución de los sistemas de acueducto independiente de su nivel de complejidad. La misma tabla contiene los parámetros de comparación mínimos recomendados para caracterizar el agua de la fuente superficial o subterránea, según su nivel de calidad.

**Tabla B. 3.2 Parámetros por medir para determinar la calidad del agua de la fuente (Decreto 1575 de 2007 - Resolución 2115 de 2007)**

Características	Valor máximo admisible	Procedimientos analíticos recomendados		Parámetros de comparación de la calidad de la fuente recomendados según el nivel calidad de la fuente			
		Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	Aceptable	Regular	Deficiente	Muy deficiente
Microbiológicas							
Coliformes totales UFC/100 cm <sup>3</sup>	0			X	X	X	X
Escherichia coli UFC/100 cm <sup>3</sup>	0		D 5392			X	X

Características	Valor máximo admisible	Procedimientos analíticos recomendados		Parámetros de comparación de la calidad de la fuente recomendados según el nivel calidad de la fuente			
		Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	Aceptable	Regular	Deficiente	Muy deficiente
<b>FÍSICAS</b>							
ph	6.5 – 9.0		D 1293	X	X	X	X
Turbiedad UNT	≤2	4707	D 1889	X	X	X	X
Color Aparente UPC	≤15			X	X	X	X
Conductividad US/cm	1.000		D 1125	X	X	X	X
Olor y sabor	Aceptable		D 1292	X	X	X	X
<b>QUÍMICAS DE SUSTANCIAS QUE TIENEN RECONOCIDO EFECTO ADVERSO EN LA SALUD HUMANA</b>							
Antimonio – mg/l	0.02		D 3697				X
Arsénico – mg/l	0.01		D 2972				X
Bario – mg/l	0.7		D 4382				X
Cadmio – mg/l	0.003		D 3557				X
Cianuro libre y disociable – mg/l	0.05						X
Cobre – mg/l	1.0		D 1688				X
Cromo total – mg/l	0.05		D 1687				X
Mercurio – mg/l	0.001		D 3223				X
Níquel – mg/l	0.02		D 1886				X
Plomo – mg/l	0.01		D 3559				X
Selenio	0.01		D 3859				X
Thihalometanos Totales	0.2						X
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	0.01						X
<b>QUÍMICAS QUE TIENEN IMPLICACIONES SOBRE LA SALUD HUMANA</b>							
Carbono Orgánico Total – mg/l	5.0						X
Nitritos – mg/l	0.1			X	X	X	X
Nitratos – mg/l	10						X
Fluoruros – mg/l	1.0						X
<b>QUÍMICAS QUE TIENEN CONSECUENCIAS ECONÓMICAS E INDIRECTAS SOBRE LA SALUD HUMANA</b>							
Calcio – mg/l	60			X	X	X	X
Alcalinidad Total – mg/l	200			X	X	X	X
Cloruros – mg/l	250			X	X	X	X
Aluminio – mg/l	0.2						X
Dureza Total – mg/l	300			X	X	X	X
Hierro Total – mg/l	0.3			X	X	X	X
Magnesio – mg/l	36			X	X	X	X
Manganoso – mg/l	0.1				X	X	

Características	Valor máximo admisible	Procedimientos analíticos recomendados		Parámetros de comparación de la calidad de la fuente recomendados según el nivel calidad de la fuente			
		Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	Aceptable	Regular	Deficiente	Muy deficiente
Molibdeno – mg/l	0.07						X
Sulfatos – mg/l	250			X	X	X	X
Zinc – mg/l	3						X
Fosfatos – mg/l	0.5					X	X

En ausencia de Normas Técnicas Colombianas, los métodos de análisis, deben realizarse de acuerdo con los métodos estándar: *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water* (APHA, AWWA y WPCF, 1995).

Los criterios que se debe tener en cuenta para establecer la confiabilidad de un método de análisis pueden ser:

1. El método debe ser capaz de llegar a los límites de detección requeridos.
2. El método debe ser capaz de suministrar resultados con errores aleatorios y sistemáticos adecuadamente pequeños

El método analítico seleccionado debe cumplir con las exigencias de exactitud, precisión y límite de detección requeridos. Para el presente propósito, se debe dar especial énfasis a las técnicas de recolección y manipulación de muestras de agua cruda ya sea de fuentes superficial o subterránea, considerándolas como parte del método de análisis.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el análisis de parámetros como por ejemplo sustancias flotantes, gusto y olor, dependen del método usado. Para el caso específico de gusto y olor es de extrema importancia que todos los laboratorios usen el método ASTM D 1292 o, si esto no es posible, debe demostrarse desde el principio que el método utilizado es capaz de dar resultados comparables a los obtenidos con éste.

### 3.4.2.2 Muestreo

Con el fin de conocer las fluctuaciones anuales de la calidad del agua en la fuente, el consultor debe realizar el monitoreo y control de la calidad del agua en la fuente por lo menos durante un ciclo hidrológico completo, tomando muestras mensualmente, para el nivel de complejidad del sistema alto y anualmente para los demás niveles de complejidad del sistema. En caso de ser imposible el desarrollo del anterior plan de monitoreo, el consultor debe tener suficiente información sobre la calidad del agua en la fuente en épocas secas y en épocas de caudales máximos.

Los programas de muestreo deben realizarse según las normas NTC ISO 5667-1, NTC ISO 5667-2. Dependiendo del tipo de fuente, debe seguirse la norma técnica respectiva, según la tabla B. 3.3.

**Tabla B. 3.3 Normas técnicas que deben seguirse en los muestreos**

Tipo de fuente	Norma Técnica
Lagos naturales y artificiales	NTC ISO 5667-4
Ríos y corrientes	NTC ISO 5667-6
Agua marina	NTC ISO 5667-9

En todo caso, es obligatorio cumplir con los requisitos establecidos en la norma técnica NTC ISO 5667-3 para la conservación de las muestras.

### 3.4.2.3 Seguridad en la calidad de las aguas crudas

Para la elección de una fuente superficial el consultor debe realizar el estudio de identificación de posibles fuentes de contaminación, valorar los riesgos y definir si la fuente es apta o no. Se deben considerar las siguientes observaciones:

1. En las captaciones hechas en ríos las aguas tienden a ser turbias, algunas veces coloreadas y en la gran mayoría de los casos reciben la descarga de aguas residuales, tanto domésticas como industriales que se han vertido aguas arriba. Las fuentes que toman aguas de lagos son generalmente más claras que las aguas de ríos, pero también están sujetas a la contaminación.
2. Las fuentes de agua localizadas en ríos pequeños y en quebradas de montaña frecuentemente son limpias y puras; en estado natural son apropiadas para el consumo humano. No obstante, estas aguas están fácilmente expuestas a contaminación por acción eventual. Por consiguiente, no pueden considerarse potables a menos que se tomen las medidas apropiadas para su protección: instalación de plantas de tratamiento de agua, vigilancia de la cuenca, colocación de carteles o letreros y/o cercas para impedir la invasión de personas y/o animales.
3. En todos aquellos casos en que se proyecten lagos artificiales mediante la construcción de embalses, deben tenerse en cuenta las condiciones futuras de la calidad del agua almacenada.
4. El consultor debe tener en cuenta el Decreto 1575 de 2007 en lo referente a las características físicas, químicas y microbiológicas del agua y el mapa de riesgo de calidad de agua en todos los casos.

### 3.4.2.4 Continuidad de la fuente

La fuente superficial debe tener la capacidad de suministrar una cantidad adecuada de agua con un riesgo de interrupción mínimo.

El rendimiento de la fuente debe estimarse únicamente con base en datos registrados con anterioridad (aforos y/o información pluviométrica) en estaciones limnimétricas ubicadas en la cuenca del río.

La continuidad de la fuente debe establecerse como requisito previo al trámite de la concesión que debe ser realizado por la persona prestadora del servicio.

### 3.4.2.5 Cantidad y caudal mínimo

En todos los casos, el caudal correspondiente al 95% de tiempo de excedencia en la curva de duración de caudales diarios, Q95, debe ser superior a dos veces el caudal medio diario si la captación se realiza por gravedad o si el sistema de acueducto incluye sistemas de almacenamiento, o superior a dos veces el caudal máximo horario si la captación se realiza por bombeo.

Si el caudal Q95 en la fuente es insuficiente para cumplir el requerimiento anterior, pero el caudal promedio durante un período que abarque el intervalo más seco del que se tenga registro es suficiente para cubrir la demanda, ésta puede satisfacerse mediante la construcción de uno o más embalses o tanques de reserva.

### 3.4.2.6 Caudal mínimo aguas abajo

En todos los casos, la fuente debe tener un caudal tal que garantice un caudal mínimo remanente aguas abajo de las estructuras de toma, con el fin de no interferir con las concesiones de agua ya otorgadas por las autoridades ambientales respectivas para otros proyectos en la cuenca y manteniendo el caudal ecológico con el fin de preservar los ecosistemas aguas abajo. Por consiguiente, se debe consultar y conocer los proyectos presentes y los posibles proyectos futuros que utilicen agua de la misma fuente del proyecto que está diseñando o construyendo.

## 3.5 Fuentes subterráneas

Las fuentes de agua subterránea pueden ser subsuperficiales o subálveas y acuíferos. La explotación de las aguas subterráneas puede realizarse mediante pozos profundos, pozos excavados, manantiales o galerías de filtración.

### 3.5.1 Estudios previos

En aquellos casos en los cuales el sistema de acueducto de un municipio, de un grupo de municipios o parte de un municipio en particular opte por el uso de las aguas subterráneas como la fuente de abastecimiento de agua potable, el consultor debe recopilar y evaluar la información hidrogeológica

y de calidad del agua disponible que tenga la autoridad ambiental competente y solicitar a ésta la autorización de exploración respectiva y de explotación posterior, de conformidad con el Decreto 1541 de 1978, o la norma que la modifique, adicione o sustituya. Adicionalmente, se deben llevar a cabo los siguientes estudios previos.

### 3.5.1.1 Concepción del proyecto

El uso de una fuente subterránea de agua, debe ser el resultado de evaluar todas las alternativas técnico-económicas y ambientales, que utilicen aguas superficiales o subterráneas, con el fin de garantizar que la escogencia de la fuente subterránea es la más factible desde el punto de vista de costo mínimo. La selección debe realizarse teniendo en cuenta la calidad del agua en la fuente subterránea y las características que permitan una construcción económica de la obra de aprovechamiento.

### 3.5.1.2 Aspectos generales de la zona

En el caso de una fuente subterránea, además de los aspectos establecidos en el literal B.3.4.1.3 de este Título, el consultor debe conocer o hacer un inventario y análisis de todos los pozos existentes en la zona, que incluya la ubicación, el rendimiento, las variaciones de nivel y el abatimiento del nivel freático. También debe conocer la litología y la calidad de agua en el subsuelo.

### 3.5.1.3 Estudios topográficos

Además de lo establecido en el literal B.3.4.1.4 de este Título, el consultor debe tener un plano topográfico a escala 1:2000 con la localización de las obras de los pozos existentes y el registro de los niveles de drenajes actuales y los niveles piezométricos.

### 3.5.1.4 Condiciones geológicas

Además de lo establecido en el literal B.3.4.1.5 de este Título, el consultor debe obtener la información fotogeológica, los estudios paleogeográficos, la delimitación de fallas, y los sondeos correspondientes a la zona del proyecto. Debe seguirse lo establecido en la Norma AWWA A-100, sección 2 para las investigaciones geológicas.

### 3.5.1.5 Estudios hidrológicos

Además de lo establecido en el literal B.3.4.1.6 de este Título, el consultor debe hacer un balance hídrico de aguas subterráneas. Debe obtenerse toda la información referente a los niveles freáticos en la zona de la fuente subterránea.

### 3.5.1.6 Estudios hidrogeológicos

El consultor debe conocer o, en caso que no existan, desarrollar estudios hidrogeológicos que contengan la información básica geofísica y geológica de los acuíferos, características hidráulicas y la calidad del agua.

En cuanto a la determinación de la conductividad hidráulica y la retención de agua, estas deben realizarse según la Norma Técnica Colombiana NTC 3957 (ISO 11275).

Los estudios hidrogeológicos de la cuenca deben contener la siguiente información: formaciones geológicas, características y propiedades físicas de los acuíferos, estimación de la descarga y recarga de la cuenca, nivel de las aguas freáticas, calidad del agua (características físicas, químicas y microbiológicas), posibles fuentes de contaminación, inventario y análisis de los pozos existentes de la zona de fuente que incluya la ubicación, el rendimiento, las variaciones de nivel y el abatimiento durante el bombeo de las aguas subterráneas.

Los estudios hidrogeológicos, para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, deben contener también un estudio geoeléctrico que incluya por lo menos un sondeo por cada dos kilómetros cuadrados. El método de cálculo puede ser el de Schlumberger. En caso de que el consultor lo considere necesario, deben hacerse perforaciones de prueba.

## 3.5.2 Características de la fuente

### 3.5.2.1 Calidad del agua

Además de lo establecido en el literal B.3.4.2.1 de este Título, el consultor debe realizar un análisis de la calidad del agua en los diferentes ambientes de depósitos subterráneos. Debe asegurarse que exista un perímetro de seguridad sanitario alrededor de la zona de la fuente subterránea dentro del cual no se permitan actividades que produzcan infiltración de contaminantes en el acuífero. Los programas para determinar la calidad del agua pueden hacerse de acuerdo a la Norma Técnica GTC 30.

### 3.5.2.2 Muestreos

Deben realizarse pruebas para conocer las condiciones en que se encuentra el agua del acuífero mediante pozos piezométricos. Este tipo de ensayos debe ser constante durante toda la vida útil de la fuente.

Los programas de muestreo deben cumplir con las Normas Técnicas NTC ISO 5667-1 y NTC ISO 5667-2. Los muestreos del agua subterránea deben realizarse según la norma técnica NTC ISO 5667-3 y NTC ISO 5667-11.

### 3.5.2.3 Capacidad de la fuente subterránea

La capacidad de la fuente subterránea debe ser igual al caudal máximo diario cuando se tenga almacenamiento en el sistema de acueducto, y al caudal máximo horario cuando no se tenga almacenamiento en el sistema de acueducto.

### 3.5.2.4 Rendimiento y niveles del acuífero

El nivel dinámico fijado por el consultor no debe ser inferior al nivel de saturación más alto captado, respetándose un cierto nivel mínimo de seguridad para el caudal máximo de explotación.

### 3.5.2.5 Recarga artificial

Si la fuente de agua para el sistema de acueducto incluye las aguas subterráneas, debe realizarse un estudio para establecer la viabilidad de la recarga artificial del acuífero durante las épocas de invierno.

Cuando se haya asegurado que la infiltración natural no alcanza a cubrir las necesidades de infiltración del proyecto, el consultor debe estudiar la posibilidad de inyección de agua a través de pozos, galerías de infiltración y/o embalses de infiltración.

## 3.5.3 Aspectos adicionales para fuentes subterráneas

### 3.5.3.1 Protección de las fuentes

Para el caso de fuentes subterráneas, debe asegurarse un perímetro sanitario alrededor de cada uno de los pozos de explotación del acuífero, con el fin de garantizar que no haya ningún tipo de contaminación que lo alcance. Se deben tomar las medidas higiénicas y de vigilancia necesarias para el correcto aprovechamiento de los pozos de agua potable.

Adicionalmente, en caso que un municipio o parte de este opte por las aguas subterráneas como su fuente de agua para el suministro de los sistemas de acueducto, la persona prestadora del servicio debe establecer con criterios técnicos un programa de compra de terrenos con el fin de asegurar la sostenibilidad en el largo plazo de la fuente abastecedora. La priorización de la compra de terrenos se debe hacer de acuerdo con lo que los estudios hidrogeológicos hayan detectado como las zonas de recarga de los acuíferos.

### 3.5.3.2 Control de filtración del agua superficial

En caso que en la zona de agua subterránea existan aguas superficiales con capacidad de infiltración hacia el acuífero, el consultor debe asegurarse que dichas aguas tengan la calidad para no contaminar el acuífero.

## TÍTULO B

### CAPTACIONES DE AGUA SUPERFICIAL

# **4. CAPTACIONES DE AGUA SUPERFICIAL**

## **4.1 Alcance**

En este capítulo se determinan los criterios básicos y requisitos que deben cumplir las captaciones localizadas en fuentes superficiales como las descritas en el literal B.3.4 de este Título. Se establecen los estudios previos, las condiciones generales, los parámetros de diseño, los aspectos de la puesta en marcha, los aspectos de la operación y los aspectos de mantenimiento de captaciones de fuentes superficiales que deben ser tenidos en cuenta por los consultores y/o constructores que estén realizando el diseño y/o la construcción de éste tipo de obras.

Las prescripciones establecidas en el presente capítulo deben aplicarse a los cuatro niveles de complejidad del sistema a menos que se especifique lo contrario.

## **4.2 Estudios previos**

El consultor debe realizar todos los estudios previos que garanticen un conocimiento pleno de la geología, la geotecnia, la topografía y la hidrología en la zona de la captación.

### **4.2.1 Concepción del proyecto**

Durante la concepción del proyecto, el consultor debe establecer criterios y condiciones generales de diseño y la localización de la captación, de acuerdo con lo establecido en el Título A del RAS: "Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico".

#### **4.2.1.1 Justificación del uso de la fuente**

En general, las captaciones de agua superficiales tienen una viabilidad económica y financiera más alta que las correspondientes a las aguas subterráneas. Por consiguiente estas últimas deben utilizarse en aquellos casos en que no se disponga de la cantidad de agua suficiente en las fuentes superficiales o cuando su calidad implique una no viabilidad económica del proceso de tratamiento.

La mayor posibilidad de contaminación química y microbiológica de las aguas superficiales hace que sea necesario tener en cuenta todas las previsiones posibles. En general es necesario someter las aguas a un proceso de depuración y

desinfección completo con el fin que sean aptas para el consumo humano, según los métodos establecidos en el Título C del RAS: "Sistemas de potabilización".

La obra de captación debe asegurar, aún en las épocas de estiaje, el caudal de diseño requerido, y el agua debe estar exenta de toda posible contaminación física, química o microbiológica, después de su tratamiento.

#### 4.2.1.2 Marco institucional

Deben tenerse en cuenta todas las leyes, decretos, reglamentos y/o normas existentes en el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, los departamentos, los municipios, las corporaciones autónomas regionales y las personas prestadoras de servicios públicos, relacionados con el consumo de agua potable.

En particular debe considerarse la Ley 09 de 1979, o la que la reemplace, en su Artículo 59 el cual establece que no se permitirán concentraciones humanas ocasionales cerca de las fuentes de agua para el consumo humano, cuando causen o puedan causar contaminación.

Además debe tenerse en cuenta el Artículo 57 de la misma ley que establece que las entidades encargadas de la entrega de agua potable al usuario velarán por la conservación y el control en la utilización de la fuente de abastecimiento para evitar el crecimiento inadecuado de organismos, la presencia de animales y la posible contaminación por otras causas.

#### 4.2.2 Análisis de costo mínimo

En general las obras de captación no pueden, por razones técnicas, construirse por etapas; esto implicaría la imposibilidad de hacer un análisis de costo mínimo. Sin embargo, en aquellos casos en que sea factible el desarrollo por etapas de las captaciones, se debe realizar un análisis de costo mínimo para las obras de captación, para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, según lo establecido en la Resolución 2320 de 2009 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o la norma que la modifique, adicione o sustituya.

#### 4.2.3 Estudio de la demanda

Debe tenerse presente todo lo establecido en el capítulo B.2, de este Título.

#### 4.2.4 Aspectos generales de la zona

Debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.3.4.1.3 de este Título. Además, el consultor debe hacer un estudio geomorfológico de las corrientes en donde se planee localizar la captación.

El sistema de captación debe localizarse en los tramos rectos o en las orillas exteriores de las curvas, cuando se localice sobre un río.

## 4.2.5 Estudios topográficos

Antes de proceder al diseño definitivo de la captación, debe hacerse un levantamiento topográfico detallado de la zona escogida para la toma; dicho levantamiento debe incluir curvas de nivel cada 0.2 m. Además, debe seguirse lo establecido en el literal B.3.4.1.4 de este Título.

## 4.2.6 Condiciones geológicas

Debe seguirse lo establecido en el literal B.3.4.1.5 de este Título.

## 4.2.7 Estudios hidrológicos

Debe seguirse lo establecido en el literal B.3.4.1.6 de este Título.

## 4.2.8 Transporte y comunicaciones

Antes de iniciar cualquier proyecto de diseño, construcción o ampliación de un sistema de acueducto, es necesario conocer y establecer toda la infraestructura de comunicaciones y de transporte en el municipio objeto del proyecto. En particular se deben conocer todos los caminos, carreteras, aeropuertos, ferrocarriles, telecomunicaciones, etc. Adicionalmente en este estudio deben quedar establecidas todas las facilidades existentes para la construcción, mantenimiento y operación de los sistemas de agua potable.

## 4.2.9 Suministro de energía eléctrica

Como parte de los estudios previos, se debe establecer la disponibilidad de energía eléctrica en las áreas en las cuales se van a desarrollar los proyectos de sistemas de acueducto o partes componentes de este, especialmente en las fuentes de abastecimiento donde se vaya a captar el agua mediante sistemas de bombeo.

## 4.2.10 Viabilidad de optimización de la estructura

Para el caso particular de las estructura de toma existentes, como parte de los estudios previos el diseñador y/o el operador del sistema de acueducto debe llevar a cabo un estudio detallado del tipo y las característica de la bocatoma o bocatomas existentes, en el caso que el proyecto involucre el aumento del caudal de agua que debe ser derivado de la fuente abastecedora.

## 4.3 Condiciones generales

### 4.3.1 Tipos de captaciones

Los diferentes tipos de captaciones y las situaciones en que pueden ser utilizadas cada una de ellas son las siguientes:

#### 4.3.1.1 Toma lateral

Aconsejable en el caso de ríos caudalosos de gran pendiente y con reducidas variaciones de nivel a lo largo del período hidrológico. En este tipo de captación la estructura se debe ubicar en la orilla y a una altura conveniente sobre el fondo, teniendo en cuenta que el nivel de aguas mínimo en épocas de estiaje debe permitir captar el caudal de diseño.

#### 4.3.1.2 Toma sumergida

Aconsejable en el caso de cursos de agua con márgenes muy extendidas, y navegables. La toma debe instalarse de modo que no se dificulte la navegación presente en el curso de agua.

#### 4.3.1.3 Captación flotante con elevación mecánica

Si la fuente de agua superficial tiene variaciones considerables de nivel pero conserva en aguas mínimas un caudal o volumen importante, por economía debe proyectarse la captación sobre una estructura flotante anclada al fondo o a una de las orillas.

#### 4.3.1.4 Captación móvil con elevación mecánica

En ríos de gran caudal, que tengan variaciones estacionales de nivel importantes durante el período hidrológico, por economía debe proyectarse la captación sobre una plataforma móvil que se apoye en rieles inclinados en la orilla del río y que sea accionada por poleas diferenciales fijas.

#### 4.3.1.5 Captación mixta

Si la fuente tiene variaciones considerables de caudal y además el cauce presenta cambios frecuentes de curso o es inestable, debe estudiarse y analizarse la conveniencia de una captación mixta que opere a la vez como captación sumergida y captación lateral.

#### 4.3.1.6 Toma de rejilla

Este tipo de toma debe utilizarse en el caso de ríos de zonas montañosas, cuando se cuente con una buena cimentación o terreno rocoso y en el caso de variaciones sustanciales del caudal en pequeños cursos de agua. Este tipo de captación consiste en una estructura estable de variadas formas; la más común es la rectangular. La estructura, ya sea en canal o con tubos perforados localizados en el fondo del cauce, debe estar localizada perpendicularmente a la dirección de la corriente y debe estar provista con una rejilla metálica para retener materiales de acarreo de cierto tamaño.

#### 4.3.1.7 Presa de derivación

Este tipo de captación de aguas superficiales es aconsejable, por razones económicas, en aquellos cursos de agua superficial preferiblemente angostos y cuando se presentan épocas muy prolongadas de niveles de caudal bajo en el río. La presa tiene como objeto elevar el nivel de agua de modo que éste garantice una altura adecuada y constante sobre la bocatoma. De acuerdo con las necesidades de abastecimiento de agua potable y el régimen de toma de agua, se pueden proyectar torres de bocatoma como sistemas de captación en lagos, lagunas y embalses, las cuales deben tener entradas de agua situadas a diferentes niveles, con el fin de poder seleccionar la profundidad a la cual se capta el agua, de acuerdo con las condiciones particulares de operación.

En todos los casos en los cuales se decida la utilización de una presa artificial de derivación como parte del sistema de acueducto de un municipio o de un grupo de municipios, el diseño, su construcción y operación deben incluir el uso de un camino para peces. Las características de dicho camino deben soportarse de acuerdo con los estudios ictiológicos pertinentes.

#### 4.3.1.8 Cámara de toma directa

Este tipo de captación se recomienda para el caso de pequeños ríos de llanura, cuando el nivel de aguas en éstos es estable durante todo el período hidrológico.

#### 4.3.1.9 Muelle de toma

Esta captación se recomienda en el caso de ríos con variaciones sustanciales del nivel del agua y cuando se pueden aprovechar obras costaneras ya existentes, como muelles, puentes, etc.

#### 4.3.1.10 Otras captaciones

En caso que no existan fuentes superficiales o fuentes subterráneas en las cercanías de las zonas por abastecer, podrán utilizarse otro tipo de captaciones, las cuales incluyen:

1. Captación directa de aguas lluvias.
2. Captación por evaporación natural de agua de mar.
3. Captación por desalinización de agua de mar.

Sin embargo, estas captaciones deben asegurar las dotaciones mínimas correspondientes al nivel de complejidad del sistema para el sistema de acueducto objeto del diseño o la construcción.

### 4.3.2 Ubicación de la captación

Las captaciones deben estar ubicadas preferiblemente en los tramos rectos de los ríos con el fin de evitar erosiones y sedimentaciones, embanques o azolves. En el caso que sea imposible ubicar la captación en una zona recta, debe situarse en la orilla externa de una curva en una zona donde no haya evidencias de erosión por causa del curso de agua.

En el caso de lagos y lagunas, al igual que en embalses, la captación debe localizarse de modo que pueda proporcionar agua de la mejor calidad posible. Una toma ubicada muy cerca del fondo podría captar agua turbia o con cierto contenido de materia orgánica en descomposición; por el contrario, si la toma está ubicada muy próxima a la superficie el agua podría contener desechos flotantes, algas y plantas acuáticas, lo cual dificultaría la operación de la estructura de toma y haría más costoso el tratamiento del agua potable.

### 4.3.3 Seguridad

Las estructuras de captación deben garantizar la seguridad de la operación de la toma de agua. En particular deben garantizar la correcta operación de las estructuras para los caudales picos, ya sean de estiaje o especialmente de crecientes.

### 4.3.4 Estabilidad

Las estructuras de captación deben ser estables con respecto a la calidad del suelo de cimentación aún en el caso de las máximas crecientes. Además, la estructura también debe ser estable cuando se presenten fallas de origen geotécnico o geológico en las cercanías a la captación. Igualmente las estructuras deben ser estables para el sismo de diseño correspondiente a la zona de amenaza sísmica en que se encuentre ubicado el municipio objeto de la captación de agua para su sistema de acueducto, de acuerdo con la norma sismoresistente.

Se recomienda que la altura de los diques requeridos en captaciones sean lo más bajo posibles con el fin de mantener las condiciones iniciales de la fuente.

### 4.3.5 Facilidad de operación y mantenimiento

El diseño de las obras de captación debe contemplar estructuras para el alivio o descarga de las mismas. Deben determinarse los medios para evitar la entrada de materiales o cuerpos extraños. Debe disponerse la instalación de un desarenador a continuación de la obra de captación cada vez que se considere necesario. Además deben disponerse los medios de limpieza y control de los caudales de toma del desarenador y la aducción.

De todas maneras la estructura de captación debe proyectarse de modo que las instalaciones funcionen con el mínimo de mantenimiento.

### 4.3.6 Lejanía de toda fuente de contaminación

El lugar del emplazamiento de las obras de captación debe estar suficientemente alejado de toda fuente de contaminación. Siempre que sea posible las captaciones se ubicarán aguas arriba de las regiones habitadas, de las descargas de aguas residuales domésticas y/o las descargas de aguas residuales industriales.

### 4.3.7 Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos

El consultor y/o la persona prestadora del servicio deben tener en cuenta todo lo establecido en los planes de saneamiento y manejo de vertimientos de la región con el fin de establecer la ubicación óptima de la captación superficial y disminuir el riesgo de la toma de aguas contaminadas. En aquellos casos en que aguas arriba del municipio existan otro(s) municipio(s) que viertan sus aguas residuales al cuerpo de agua donde se localizará la captación, el consultor y/o la persona prestadora deben tener en cuenta los planes de saneamiento y manejo de vertimientos que cobijen a dichos municipios con el fin de establecer la ubicación óptima de la captación y la calidad del agua cruda a captar y especialmente la existencia de plantas de tratamiento de las aguas residuales en los vertimientos de dichos municipios.

### 4.3.8 Aprovechamiento de la infraestructura existente

En el caso que el proyecto consista en la ampliación de un sistema de acueducto existente, el consultor debe establecer la posibilidad de aprovechar la infraestructura de captación existente. En caso que se decida aprovecharlas, las obras deben planificarse de modo que las interrupciones en el servicio de las estructuras existentes sean las mínimas posibles.

### 4.3.9 Interferencia a la navegación

Las obras de captación que estén localizadas en ríos navegables no pueden interferir el movimiento de las embarcaciones y de otros elementos flotantes arrastrados por la corriente.

### 4.3.10 Desviación de cursos

Deben evitarse al máximo las modificaciones de los cursos de agua, teniendo en cuenta la posibilidad de erosiones y el arrastre de elementos.

### 4.3.11 Accesos

Las obras de captación deben localizarse en zonas con accesos fáciles que permitan las operaciones de reparación, limpieza y mantenimiento. En caso contrario deben construirse las vías que permitan el acceso adquiriendo servidumbres de paso.

### 4.3.12 Cerramientos

La zona de la bocatoma debe disponer de los medios de protección y cercado para evitar la entrada de personas y animales extraños.

### 4.3.13 Iluminación

En el caso que la bocatoma incluya bombeo debe proveerse la iluminación adecuada necesaria y cumplir todo lo establecido en el capítulo B.8, de este Título.

### 4.3.14 Vulnerabilidad y confiabilidad

Debe realizarse un estudio para establecer el nivel de vulnerabilidad de la estructura de toma, según lo establecido en el capítulo G.6 del Título G del RAS: “Aspectos complementarios” y el capítulo B.10 de este Título. En caso de tener una alta vulnerabilidad, el sistema de toma debe ser redundante para las estructuras pertenecientes a los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto.

## 4.4 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño constituyen los elementos básicos para el desarrollo del diseño de una captación de agua superficial. Es función del Viceministerio de Agua y Saneamiento, asesorado por la Junta Técnica Asesora

del Reglamento Técnico del Sector - RAS, establecer los mecanismos, criterios, procedimientos y metodologías para la revisión, la actualización y la aceptación de los parámetros y valores para el diseño de captaciones de agua superficial.

#### 4.4.1 Período de diseño

El período de diseño debe fijar tanto las condiciones básicas del proyecto, como la capacidad de la obra para atender la demanda futura. El período de diseño también depende de la curva de demanda y de la programación de las inversiones, así como de la factibilidad de ampliación, de la tasa de crecimiento de la población y de la tasa de crecimiento del comercio y la industria.

De conformidad con la Resolución 2320 de 2009, para el caso de las obras de captación, los períodos de diseño se especifican en la tabla B. 4.2.

**Tabla B. 4.2 Período de diseño según el nivel de complejidad del sistema para captaciones superficiales**

Nivel de Complejidad del Sistema	Período de diseño
Bajo, Medio y Medio Alto	25 años
Alto	30 años

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, las obras de captación de agua superficial deberán ser analizadas y evaluadas teniendo en cuenta el período de diseño máximo, llamado también horizonte de planeamiento de proyecto; y si técnicamente es posible, se deberán definir las etapas de construcción, según las necesidades del proyecto, basados en la metodología de costo mínimo tal como se recomienda en el literal B. 4.2.2.

#### 4.4.2 Capacidad de diseño

Para todos los niveles de complejidad del sistema, la capacidad de las estructuras de toma debe ser hasta de 2 veces el caudal máximo diario definido en el literal B.2.8.

#### 4.4.3 Canales de aducción

Desde la captación hasta la estación de bombeo o el desarenador, según sea el caso, deben determinarse las áreas mojadas de canales necesarias en cada condición, teniendo en cuenta los distintos parámetros hidráulicos que intervienen. La memoria de cálculo hidráulico debe incluir los criterios utilizados, las fórmulas, las tablas, así como también el trazado de la línea piezométrica de todo el sistema hidráulico de aducción.

Las velocidades del flujo deben ser tales que no se produzcan sedimentaciones ni erosiones en los canales de aducción.

#### 4.4.3.1 Método de cálculo

Para los cálculos hidráulicos y los diseños de canales puede utilizarse la ecuación de Manning. También puede utilizarse la ecuación de Chézy.

#### 4.4.3.2 Velocidades máximas en los canales de aducción

En la tabla B. 4.3 se muestran las velocidades máximas correspondientes a los diferentes tipos de terreno, las cuales deben ser respetadas por el consultor.

Tabla B. 4.3 Velocidades máximas

Naturaleza de las paredes	Velocidad máxima (m/s)
Roca compacta (granito)	3.00
Roca estratificada (calcáreos)	2.00
Mampostería en mortero – Hormigón	2.50
Mampostería en seco – Concreto asfáltico	1.50
Tierra vegetal compacta	0.75
Terreno de naturaleza arenosa	0.50
Terreno de arena fina (médano)	0.40

#### 4.4.3.3 Velocidades mínimas en los canales de aducción

Con respecto a las velocidades mínimas con las cuales se deben operar los canales localizados inmediatamente aguas abajo de las captaciones, dichas velocidades deben establecerse, por parte del consultor, como una función de la profundidad del flujo y del tipo de limo que existe en suspensión con el fin de evitar su sedimentación. El consultor debe determinar el esfuerzo cortante mínimo que debe tenerse en las paredes y el fondo del canal con el fin de asegurar, adicionalmente, que aquellos limos que se hayan depositado sean removidos hacia aguas abajo.

En caso que no existan los estudios necesarios para establecer la velocidad mínima de operación en los canales de aducción localizados aguas abajo de las captaciones, se debe utilizar una velocidad mínima de 0.6 m/s, exceptuando los canales construidos en arenas o médanos, en los cuales dicha velocidad mínima es 0.4 m/s.

#### 4.4.3.4 Forma de la sección transversal

En los casos de canales para estructuras de captación, debe adoptarse una sección transversal rectangular o trapecial. Las proporciones definitivas de

la sección transversal deben adoptarse teniendo en cuenta un criterio de menor costo para el canal.

Para el nivel de complejidad del sistema bajo puede adoptarse una sección trapecial cuya base tome valores comprendidos entre 1.5 y 2.5 veces la profundidad del flujo, sin necesidad de hacer un análisis de costo mínimo para el canal.

#### 4.4.3.5 Pendientes laterales

En caso que se adopte una sección transversal trapecial, los taludes laterales dependerán de la naturaleza del terreno. La tabla B. 4.4 indica los valores recomendados para distintos tipos de terreno. Sin embargo, para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto debe realizarse un estudio sobre la estabilidad de los taludes laterales del canal.

Tabla B. 4.4 Ángulo de taludes según el terreno

Naturaleza del terreno	Pendiente del talud (horizontal : vertical)
Roca firme (pequeños canales)	talud vertical
Roca firme	1 : 4
Roca compacta - Revestimiento de hormigón	1 : 2
Rocas sedimentarias - Revestimiento en seco	3 : 4
Tierra vegetal consistente	1 : 1
Tierra vegetal y suelo arcillo - arenoso	3 : 2
Suelos arenosos	2 : 1
Arena fina suelta	3 : 1

#### 4.4.4 Filtros de toma

En algunas captaciones pueden proyectarse filtros de toma. En el proyecto de este filtro debe definirse lo siguiente:

1. El caudal que debe ser captado, según las necesidades del municipio al que se va a suministrar agua.
2. La velocidad a través del filtro, debe estar comprendida entre 0.10 m/s y 0.15 m/s, con el fin de evitar, hasta donde sea posible, el arrastre de materiales flotantes y una fuerte succión sobre los peces en las proximidades de la zona de la captación.
3. La apertura y el tipo de ranuras u orificios.
4. El área neta de captación.

##### 4.4.4.1 Superficie filtrante

La superficie filtrante debe calcularse teniendo en cuenta la carrera del filtro, de modo que sea posible un mantenimiento adecuado en función de

la cantidad del material en suspensión de las aguas en la zona de captación. Con fines de diseño, y para determinar las pérdidas de altura piezométrica de diseño, debe suponerse una colmatación del filtro del 30%.

#### 4.4.4.2 Materiales para filtros

La elección del tipo de material del filtro está dada en función del grado de agresividad de las aguas en la captación. Los materiales que se pueden utilizar para construir los filtros de toma son: tuberías de hierro galvanizado, de acero inoxidable, plásticas o de aleaciones especiales.

### 4.4.5 Rejillas

La captación de aguas superficiales a través de rejillas se utiliza especialmente en los ríos de zonas montañosas, los cuales están sujetos a grandes variaciones de caudal entre los períodos de estiaje y los períodos de crecientes máximas. El elemento base del diseño es la rejilla de captación, la cual debe ser proyectada con barras transversales o paralelas a la dirección de la corriente.

Los otros tipos de toma también deben tener rejillas, con el fin de limitar la entrada de material flotante hacia las estructuras de captación.

#### 4.4.5.1 Elementos de diseño

En todo diseño de rejillas deben contemplarse los siguientes elementos: el caudal correspondiente al nivel de aguas mínimas en el río, el caudal requerido por la población que se va a abastecer y el nivel máximo alcanzado por las aguas durante las crecientes, con un período de retorno mínimo de 20 años.

##### 1. Inclinación de las rejillas

En el caso de rejillas utilizadas para la captación de aguas superficiales en cursos de agua de zonas montañosas, la rejilla debe estar inclinada entre 10% y 20% hacia la dirección aguas abajo. En el caso de otros tipos de estructuras de captación, las rejillas deben tener una inclinación de 70° a 80° con respecto a la horizontal.

##### 2. Separación entre barrotes

La separación entre barrotes, para el caso de estructuras de captación en ríos con gravas gruesas, debe ser entre 75 mm y 150 mm. Para ríos caracterizados por el transporte de gravas finas, la separación entre barrotes debe ser entre 20 mm y 40 mm.

##### 3. Ancho de la rejilla

El ancho de la rejilla debe depender del ancho total de la estructura de captación y el caudal mínimo de la fuente.

#### 4.4.5.2 Velocidad del flujo en la rejilla

La velocidad efectiva del flujo a través de la rejilla debe ser inferior a 0.15 m/s, con el fin de evitar el arrastre de materiales flotantes.

#### 4.4.5.3 Pérdidas menores de la rejilla

Deben conocerse las pérdidas menores que ocurren en la rejilla. Para calcularlas debe utilizarse la siguiente ecuación:

$$h_m = k_m \times \frac{v^2}{2g} \quad (\text{B. 4.1})$$

donde:

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ ).

$v$  = Velocidad media del flujo ( $\text{m/s}$ ).

$h_m$  = Altura de pérdidas menores ( $\text{m}$ ).

$k_m$  = Coeficiente de pérdidas menores (adimensional).

$k_m$  debe calcularse de la siguiente forma:

$$k_m = \beta \times \left( \frac{S}{b} \right)^{1.33} \quad (\text{B. 4.2})$$

donde:

$\beta$  = Factor de forma (adimensional).

$S$  = Espesor de las barras ( $\text{m}$ ).

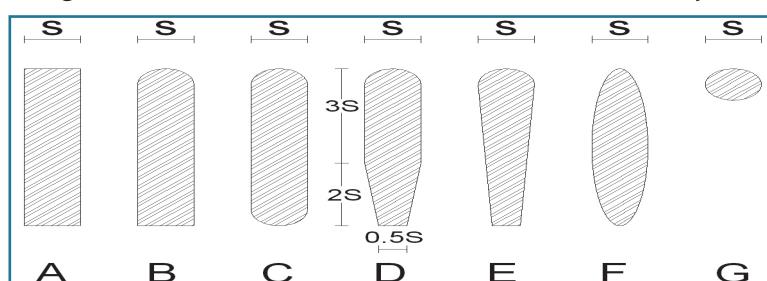
$b$  = Separación entre barras ( $\text{m}$ ).

El factor de forma  $\beta$  debe obtenerse de la tabla B. 4.5, en conjunto con la Figura B. 4.1.

Tabla B. 4.5 Factor de forma para rejillas

Forma	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

Figura B. 4.1 Diferentes formas de barrotes de rejillas



## 4.5 Diseño de captaciones

### 4.5.1 Captaciones laterales

En caso que en el proyecto de abastecimiento de agua potable de un municipio se deba proyectar una captación lateral, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

La captación lateral estará constituida, entre otras, por las siguientes partes:

1. Un muro normal o inclinado con respecto a la dirección de la corriente para asegurar un nivel mínimo de las aguas en la rejilla.
2. Un muro lateral para proteger y acondicionar la entrada de agua al conducto o canal que conforme la aducción y para colocar los dispositivos necesarios que controlen el flujo e impidan la entrada de materiales extraños.

La bocatoma debe estar ubicada por debajo del nivel de aguas mínimas y por encima del probable nivel de sedimentación del fondo.

La obra debe tener un canal o conducto de entrada provisto de rejilla que impida el acceso de elementos flotantes y peces. En el caso que aguas abajo exista un canal o un conducto, se conducirán las aguas captadas a un pozo receptor ubicado más adelante.

El agua del río circulará por gravedad hacia el pozo, desde donde será conducida, ya sea por bombeo o por gravedad, al desarenador y posteriormente a la planta de tratamiento.

La bocatoma debe estar provista de una rejilla, que tendrá una separación entre barrotes de 20 mm a 25 mm, cuya finalidad es impedir el acceso de elementos gruesos o flotantes.

Inmediatamente después de la rejilla debe instalarse una compuerta que permita la realización de las operaciones de limpieza y mantenimiento, y que en lo posible permita el aforo de caudales como función de la apertura de la misma.

### 4.5.2 Captaciones sumergidas

En caso que la estructura de captación involucre una toma sumergida, deben considerarse los siguientes aspectos:

1. La toma consiste fundamentalmente en un conducto, para el nivel de complejidad del sistema bajo, o dos o más conductos para los demás niveles de complejidad del sistema. El conducto o los conductos deben enterrarse en el lecho del río en el sentido transversal a la dirección de la corriente, terminando generalmente en un tubo de filtro o cámara sumergida.

2. La finalidad de la colocación de dos tuberías de toma es una manera de evitar posibles interrupciones temporales del suministro ante la posibilidad de obstrucciones, rotura o limpieza de una de las dos. En tal caso, cada uno de los conductos debe tener una capacidad hidráulica igual a la establecida en el numeral B.4.4.2.
3. El agua captada a través de la tubería, filtro o cámara sumergida debe fluir hasta una cámara de bombas, pozo de succión o cámara de inicio del flujo por gravedad y de allí ser conducida hacia el desarenador y posteriormente hacia la aducción y la planta de tratamiento.
4. Los conductos de toma deben penetrar en el lecho del río de modo que queden localizados por debajo del nivel mínimo de socavación que adquiera el lecho durante el paso de una creciente cuyo período de retorno sea 20 años.
5. Con el objeto de evitar asentamientos, los conductos deben apoyarse sobre una base de concreto de 0.2 m de espesor como mínimo, en aquellos sitios donde pueda existir una socavación local en el lecho del río.
6. En la zona del río, los conductos de toma deben estar protegidos, en las partes superior y lateral mediante un pedraplén de aproximadamente 2 m de ancho en su parte superior. Las pendientes laterales de este pedraplén deben seguir el talud natural del material empleado. Debe verificarse la estabilidad del pedraplén en función de las velocidades de arrastre del río.
7. Con el objeto de evitar probables obstrucciones, las tuberías deben tener un diámetro mínimo de 200 mm.
8. La tubería de captación debe ser preferiblemente metálica con el fin de que puedan absorber los asentamientos diferenciales que puedan producirse debido a la socavación local del lecho. El consultor puede proponer otros materiales para fabricar la tubería, los cuales debe justificar técnica y económicamente.

### 4.5.3 Captaciones flotantes y captaciones móviles con elevación mecánica

En el caso que el sistema de abastecimiento de agua de un municipio contemple captaciones flotantes, deben tenerse presente los siguientes aspectos:

1. La impulsión debe ser flexible con el fin de absorber todos los alargamientos debidos a las variaciones de nivel del agua en el río.
2. En caso que el equipo de bombeo y el filtro estén ubicados sobre una misma plataforma flotante, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Estas estaciones consisten en una estructura flotante cuyas dimensiones serán adoptadas en función del tamaño y el peso del equipo de bombeo.
  - b) Normalmente es aconsejable el empleo de bombas centrífugas por su menor tamaño, peso y costo inicial.
  - c) Es recomendable emplear en el cálculo un amplio margen de seguridad de flotación, verificando el par estabilizante, con el fin de lograr una mayor estabilidad. La balsa o elemento flotante debe anclarse en tres puntos, dos de los cuales deben ir en tierra firme o en bloques de concreto instalados en forma permanente en el lecho del río.
3. En caso que el equipo de bombeo se encuentre ubicado en una de las orillas y el filtro sobre la estructura flotante, deben observarse los siguientes aspectos:
    - a) Tanto la bomba como el motor deben ubicarse por encima del nivel de aguas máximas, de modo que la altura de succión no sobrepase los límites aconsejables al producirse el nivel de aguas mínimas. Esto evitará problemas de cavitación.
    - b) En la cámara de bombeo debe preverse un dispositivo de ventilación, para permitir una correcta aireación del recinto.
    - c) El planchón flotante debe anclarse de manera que se eviten los posibles desplazamientos laterales y a una distancia de la orilla compatible con la sumergencia del filtro de la tubería de succión.
  4. En ambos casos el conducto de succión debe ser capaz de resistir sin deformaciones los esfuerzos de flexión a que pueda estar sometido.
  5. La sumergencia del filtro debe adecuarse de modo que se evite la captación de desechos flotantes, algas u otros elementos que se encuentren en la superficie del agua, así como la posibilidad de aspirar agua turbia o con algún contenido de materia orgánica en descomposición desde el fondo del río en ciertas épocas del año.
  6. Adicionalmente debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el capítulo 8 de este Título.

#### 4.5.4 Captaciones de rejilla

En caso que la obra de captación de agua para el sistema de acueducto involucre una toma de rejilla, el diseño debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. La toma de rejilla debe ser un pequeño muro transversal a la corriente, con una rejilla superior de captación que permita el ingreso de aguas y limite la entrada de materiales sólidos.
2. La bocatoma debe estar constituida por los siguientes elementos:

- a) Una rejilla de captación dispuesta transversalmente a la dirección de la corriente.
  - b) Un canal de captación.
  - c) Una tubería o canal de conducción.
  - d) Una compuerta que permita la regulación de caudales.
  - e) Una cámara desarenadora.
3. La bocatoma de rejilla debe incluir adicionalmente un camino para peces, con el fin de permitir los pasos migratorios de estos, sin que la rejilla los interfiera. El diseño del camino de peces debe basarse en los correspondientes estudios ictiológicos.
  4. Se proyectará un muro de encauzamiento transversal que oriente las líneas de corriente hacia la rejilla en épocas de estiaje.
  5. El agua del río será captada a través de la rejilla y conducida por gravedad a lo largo del canal de captación, en cuyo tramo final debe colocarse una compuerta que permitirá la regulación de caudales hacia la tubería o el canal de conducción, y descargar luego las aguas en el desarenador. Desde allí continúa la aducción hasta la planta de tratamiento.
  6. Las rejillas y el canal de recolección se calcularán para un caudal equivalente a la capacidad de diseño de la estructura de captación.
  7. La velocidad a través de la rejilla será inferior a 0.15 m/s, para reducir a un mínimo el arrastre de materiales flotantes.
  8. La rejilla será de hierro fundido preferiblemente con perfiles o en su defecto con barras paralelas entre sí y colocadas en el sentido de la corriente.
  9. La separación libre entre perfiles o barras será de 20 mm a 50 mm.
  10. La rejilla estará formada por secciones removibles con el fin de facilitar su limpieza. No se aceptará la colocación de mallas por la dificultad para la limpieza.
  11. El canal de captación debe tener una pendiente alta, capaz de impedir la sedimentación de las arenas y el material de arrastre que ingrese a través de la rejilla. El dimensionamiento de dicho canal permitirá conducir la totalidad del agua captada en toda la longitud de la rejilla.
  12. El cálculo debe realizarse con base en los lineamientos clásicos para las conducciones a superficie libre.
  13. El ancho de la base del fondo del canal debe permitir las operaciones de limpieza mediante elementos manuales.
  14. Aguas arriba y aguas abajo del canal de captación debe construirse un enrocamiento en toda su longitud, con un ancho no menor de 3 m y una profundidad media de 0.6 m como protección contra la acción erosiva de la corriente.

15. La tubería o el canal de conducción tendrá por finalidad servir de enlace entre el canal de captación y el desarenador. Esta tubería puede ser proyectada enterrada o a cielo abierto, dependiendo de la topografía de la zona de captación.

## 4.5.5 Presas derivadoras

En caso que las obras de captación involucren el uso de una presa derivadora, deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. La torre de toma debe ubicarse lo más alejada posible de la orilla y debe emplazarse lateralmente. El canal de limpieza debe ubicarse contiguo a ella.
2. Cada toma tendrá su correspondiente rejilla de hierro fundido. Otros materiales deben ser justificados.
3. La separación de las barras que conforman la rejilla debe ser de 20 mm a 50 mm.
4. Cada toma tendrá su correspondiente válvula de compuerta para operar la más adecuada.
5. La toma más baja debe instalarse por lo menos a 1.5 m del fondo del embalse.
6. Siempre que sea posible, la toma más alta debe instalarse a una profundidad mínima de 3 m con respecto a la superficie del agua del embalse.
7. Las compuertas y los mecanismos de maniobra deben calcularse teniendo en cuenta las cargas máximas a que se hallarán sometidos. Estos mecanismos de apertura y cierre deben ubicarse en una cota tal que no puedan ser afectados por el nivel de las máximas crecientes que ocurran en el embalse. Se recomienda que la creciente mínima para el cálculo de éste nivel corresponda a la creciente cuyo período de retorno sea 20 años.
8. La captación de las aguas se hará a través de una bocatoma emplazada en la torre de toma. Desde dicha torre el agua debe ser conducida a través de la tubería de aducción hasta el desarenador y desde allí a la planta de tratamiento.

## 4.5.6 Captaciones en toma directa

En caso que el sistema de captación requiera una toma directa deben considerarse los siguientes requisitos:

1. La toma directa debe tener una cámara de succión localizada en una de las orillas del río, y una abertura ubicada paralelamente al sentido de la corriente. Dicha abertura estará protegida mediante las rejillas adecuadas.

2. La cámara de succión debe estar localizada preferiblemente en tramos rectos del río y en la orilla que presente una mayor profundidad.
3. La apertura de la toma directa debe localizarse por debajo del nivel mínimo de estiaje en el río y a una distancia superior a 0.3 m por encima del nivel del lecho con el fin de evitar remociones del material del fondo.
4. En caso que los factores económicos aconsejen la instalación de bombas de pozo profundo, los motores de las mismas estarán localizados por encima del nivel de la creciente máxima del período de retorno adoptado para el proyecto y las bombas deberán tener una sumergencia adecuada, a no ser que sean del tipo turbo bombas con motor sumergible. También se puede proyectar un pozo seco teniendo en cuenta sus posibles dificultades de drenaje debido a que se va a encontrar debajo del nivel de las aguas del río.
5. En caso que se adopten bombas no sumergibles debe ponerse especial atención a los límites de succión aconsejable en los períodos de estiaje, con el fin de minimizar los riesgos de cavitación en la tubería de succión.
6. Las velocidades mínimas en la succión deben ser superiores a las velocidades de asentamiento.
7. En caso de instalarse más de una bomba se tendrá en cuenta la distancia entre ellas, con el fin de evitar interferencias mutuas durante el funcionamiento.

#### 4.5.7 Captaciones con muelles de toma

En caso que las obras de captación involucren un muelle de toma deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Un muelle de toma debe tener un elemento que sirve de soporte a la tubería de toma hasta el lugar apropiado para que cumpla su objetivo, generalmente alejado de la orilla.
2. El muelle estará emplazado en una zona no afectada por erosiones o por depósitos de material aluvial.
3. En general conviene disponer de bombas de eje vertical. En este caso debe tenerse en cuenta que el motor de la bomba quede por encima del nivel de la máxima creciente con período de retorno igual al período del proyecto y que además la bomba logre una sumergencia adecuada para su correcto funcionamiento.
4. Si los factores de índice económico exigen la adopción de bombas no sumergibles, se tendrán en cuenta los límites aconsejables para la succión en los períodos de estiaje, con el fin de prevenir posibles problemas de cavitación en la tubería de succión.

5. La obra de toma debe estar protegida mediante rejas perimetrales. La velocidad de flujo a través de ellas debe oscilar alrededor de 0.05 m/s con el fin de evitar que los elementos gruesos flotantes giren hacia ella.
6. En ciertos casos puede resultar aconsejable reemplazar el cerramiento perimetral citado en el numeral anterior mediante la adopción de una tubería camisa provista de rejas gruesas y finas con mecanismos de elevación para limpieza.
7. En el caso de ríos navegables, el muelle debe estar convenientemente anclado.
8. Debe establecerse la estabilidad de la estructura en el caso de crecientes.

#### 4.5.8 Embalses

En caso que las obras de captación incluyan la construcción de un embalse, al seleccionar la zona para construirlo, el consultor debe considerar, los siguientes factores, entre otros:

1. La cuenca tendrá un área y una precipitación neta suficientes para proveer los caudales requeridos durante todo el período de diseño.
2. La topografía de la zona destinada para el embalse debe proveer suficiente almacenamiento determinado con la metodología de costo mínimo y el desarrollo de un sitio hidráulica y topográficamente adecuado para ubicar el vertedero de excesos. En todos los casos que involucren embalses, debe llevarse a cabo mediante un análisis de costo mínimo, como se describe en el Título A del RAS: “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico”.
3. La geología del embalse debe tener entre otras las siguientes características:
  - a) Debe proveer los materiales convenientes para la construcción de la presa.
  - b) Debe tener una capacidad portante adecuada para una cimentación segura de la presa y el vertedero de excesos.
  - c) Debe tener una impermeabilidad suficiente de suelos para evitar una infiltración excesiva por debajo de la presa. En caso contrario se deben prever las medidas necesarias para limitar las infiltraciones bajo la presa.
4. Deben evitarse las zonas que tengan alta densidad de habitantes, grandes bosques, terrenos pantanosos, ríos y quebradas que tengan alta turbiedad durante gran parte del año y aquellas que requieran nueva localización de obras de infraestructura, como carreteras, puentes, ferrocarriles, líneas de transmisión eléctrica, etc.

5. En lo posible, la zona del embalse debe estar próxima al municipio en el cual se está desarrollando el proyecto de abastecimiento de aguas.
6. Debe reducirse al mínimo las áreas inundadas de poca profundidad para evitar el crecimiento de vegetación.
7. Dado que este tipo de obras requiere Licencia Ambiental en los términos del Decreto 2820 de 2010, deben revisarse los aspectos ambientales más relevantes a considerar.

## 4.5.9 Presas

En caso que el sistema de acueducto de un municipio o un grupo de municipios involucre el uso de una presa, se debe asegurar que ésta vaya acompañada del correspondiente camino para peces, con el fin de que dicha estructura no interfiera con las rutas de migración de éstos. El diseño, la construcción y la operación del camino de peces debe basarse en estudios ictiológicos que involucren las especies de peces que deberán usar dichos caminos. Para la construcción de presas se requiere la obtención previa de la Licencia Ambiental en los términos del Decreto 2820 de 2010, o la norma que lo modifique, adicione o sustituya.

Los tipos de presas más comunes son los siguientes:

### 4.5.9.1 Presas de tierra

Las presas de tierra se utilizarán cuando los materiales de construcción estén disponibles cerca de la zona del embalse y siempre que el vertedero de excesos sea independiente de la estructura principal.

Para el diseño de la presa se tendrán en cuenta, entre otros, los siguientes requisitos:

1. Los materiales serán estables bajo las condiciones probables de contenido de humedad.
2. La cimentación tendrá suficiente capacidad portante para las hipótesis más desfavorables de cargas.
3. La permeabilidad del cuerpo de la presa y de su cimentación debe ser tan baja como sea posible.
4. El borde libre de la presa debe ser suficiente para prevenir cualquier desbordamiento del embalse durante las crecientes y los daños ocasionados por la acción de las olas.
5. Los taludes de la presa deben protegerse contra la erosión, ya sea mediante un enrocado o mediante pasto.
6. El diseño de la presa garantizará la estabilidad al vuelco, a los deslizamientos, a las fallas por corte directo y a la subpresión. Además, debe ponerse especial atención a los efectos sísmicos sobre la presa.

#### 4.5.9.2 Presas de roca

Este tipo de presa generalmente se utilizará cuando el único material disponible para la construcción sea roca. Entre otros, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. La presa debe tener una membrana impermeable para impedir la infiltración. La membrana impermeable debe ubicarse dentro de la presa o sobre el talud aguas arriba de ésta.
2. Para el diseño de la presa se tendrán en cuenta todos los requisitos generales estipulados en el diseño de presas de tierra.

#### 4.5.9.3 Presas de gravedad en concreto o mampostería

Cuando no puedan construirse presas de tierra o roca y en aquellos casos en que el vertedero de excesos pueda incorporarse a la estructura de la presa, debe utilizarse una presa de gravedad en concreto o mampostería. Para el diseño de la presa se tendrán en cuenta, entre otros, los siguientes requisitos:

1. Para el diseño de la presa se tendrán en cuenta los requisitos generales estipulados en el diseño de presas de tierra.
2. Los coeficientes de seguridad que deben ser adoptados para la construcción de las presas son los siguientes:  
Con respecto al volcamiento: mayor que 2.0  
Con respecto al deslizamiento: mayor que 1.5

### 4.5.10 Vertederos de excesos

En todo tipo de presas debe construirse al menos un vertedero de excesos para proteger las estructuras durante las crecientes. Para esto deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La capacidad del vertedero debe justificarse en función de la máxima creciente registrada o estimada según las características hidrológicas de la zona.
2. La rápida, localizada aguas abajo de la cresta del vertedero, debe construirse revestida en concreto o en mampostería con el fin de proteger las estructuras contra la erosión producida por las altas velocidades del agua.
3. En caso que se considere necesario la rápida debe ir acompañada de estructuras de aireación con el fin de prevenir posibles problemas causados por cavitación.
4. Al final de la rápida siempre debe existir una estructura disipadora de energía del agua del canal de excesos, para prevenir problemas de socavación en las estructuras ubicadas aguas abajo. En lo posible se tratará de entregar el flujo con la misma energía que lo caracterizaba antes de la construcción de la presa.

## 4.5.11 Acondicionamiento de la cuenca que aporta al embalse

Siempre que las obras de captación involucren la construcción de una presa y el embalsamiento de agua, debe contarse con la correspondiente licencia ambiental. Complementariamente, deben observarse los siguientes requisitos para lograr un acondicionamiento de la cuenca localizada aguas arriba de las estructuras:

1. Deben eliminarse todos los posibles focos de contaminación, tanto química como microbiológica. Por esta razón, es conveniente que el municipio o la autoridad adquiera las áreas perimetrales y las adecue convenientemente eliminando las viviendas y plantando árboles de hojas perennes en las mismas (la repoblación forestal en las zonas marginales reducirá además la cantidad de limos y arcillas arrastrada hacia el embalse).
2. En caso que aguas arriba del embalse se localice otro municipio, las aguas residuales de éste deben ser tratadas antes de entregarlas al río que alimenta la presa.
3. Deben tomarse todas las medidas de protección posibles sobre la vertiente y los ríos afluentes, con el fin de evitar contaminaciones de origen animal o humano y la erosión.
4. Debe restringirse el acceso de excursionistas, nadadores, navegantes y ganado a la zona de la vertiente y a las áreas tributarias.
5. Para todos los niveles de complejidad del sistema se debe establecer e implementar un programa de compra de tierras en toda la cuenca abastecedora priorizando desde aguas arriba hacia aguas abajo.

## 4.5.12 Otras captaciones

En el caso de captaciones especiales debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

### 4.5.12.1 Captación directa de aguas lluvias

Este tipo de captaciones únicamente debe usarse cuando no exista alrededor del municipio otra fuente. Sin embargo, para poder utilizar la captación directa de aguas lluvias, ésta debe asegurar una dotación mínima de acuerdo con el nivel de complejidad del sistema escogido. (Véase literal B.2.5.2)

Conforme al artículo 144 del Decreto 1541 de 1978, se requerirá concesión para el uso de las aguas lluvias cuando estas aguas forman un cauce natural que atraviese varios predios, y cuando aún sin encausarse salen del inmueble.

El diseño de este tipo de captaciones debe cumplir los siguientes requisitos:

1. Deben establecerse las áreas de captación disponibles en el municipio, como techos, terrazas impermeables, zonas pavimentadas y todas las otras superficies adecuadas para tal efecto.
2. El sistema debe ir acompañado por filtros de arena cuyo objetivo será retener los sólidos en suspensión.
3. El agua debe recolectarse en tanques o cisternas ubicados en un sitio elevado.
4. Si las cisternas se encuentran enterradas deben cumplirse los siguientes requisitos adicionales:
  - a) Deben estar al menos a 15 m de distancia de toda fuente de contaminación, como pozos sépticos, descargas sanitarias, etc.
  - b) La tapa debe quedar al menos 0.5 m por encima del nivel del terreno.
5. Las cisternas y los tanques de almacenamiento deben tener tubos de ventilación, rebose y desagüe.
6. Las tuberías que conducen el agua a los tanques o cisternas deben tener una válvula de alivio para eliminar las aguas de las primeras lluvias.

#### 4.5.12.2 Captación por evaporación de agua de mar

Este tipo de captación debe utilizarse únicamente en municipios sin otra fuente de abastecimiento. Sin embargo, la captación debe asegurar la dotación mínima exigida para el nivel de complejidad del sistema correspondiente. (Véase literal B.2.5.2)

El diseño de este tipo de captaciones debe cumplir los siguientes requisitos:

1. Los estanques de evaporación deben tener poca profundidad y el área de las cubiertas transparentes debe ser lo más amplia posible.
2. Debe recolectarse de manera eficiente el vapor de agua, utilizando preferiblemente canaletas de material plástico. Debe aislarse el sistema para que las pérdidas de vapor sean mínimas.
3. Al agua captada deben añadirse sales con el objeto de hacerla aceptable al consumo humano.

#### 4.5.12.3 Captación por desalinización de agua de mar

Este tipo de captación debe utilizarse en municipios sin fuentes de abastecimiento de agua convencionales. Sin embargo, la captación debe asegurar la dotación mínima exigida para el nivel de complejidad del sistema correspondiente. (Véase literal B.2.5.2)

Estos métodos (destilación, evaporación al vacío, ósmosis inversa) son costosos e implican uso intenso de energía. Por consiguiente, debe realizarse un estudio técnico y económico detallado que incluya la inversión inicial y el consumo de energía para la vida útil del proyecto.

## 4.6 Desarenadores

En el caso que, se requiera el uso de un desarenador, éste debe instalarse en el primer tramo de la aducción, lo más cerca posible a la captación de agua, de acuerdo con las condiciones topográficas y geológicas de la zona. Preferiblemente, los desarenadores deben ser del tipo autolimpiante. Los desarenadores deben contener canales o pasos directos para su operación mientras se efectúa el mantenimiento.

Para el caso de los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, cuando se haga uso de estructuras de desarenación, estas pueden estar compuestas por un solo desarenador, acompañado de un canal o estructura para el paso directo del agua mientras se ejecutan labores de operación y mantenimiento en la estructura de desarenación.

En el caso de desarenadores diseñados con tolvas para efectos de autolimpieza, este canal podría evitarse ya que no es necesario parar su operación; sin embargo, se debe construir para cuando sucedan problemas estructurales en el desarenador lo cual impediría el funcionamiento del mismo.

### 4.6.1 Ubicación

Para la selección del sitio donde se ubicará el desarenador deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. El área de la localización debe ser suficientemente grande para permitir la ampliación de las unidades durante el período de diseño del sistema, siguiendo lo recomendado por el estudio de costo mínimo.
2. El sitio escogido debe proporcionar suficiente seguridad a la estructura y no debe presentar riesgo de inundaciones en los períodos de invierno.
3. La ubicación del desarenador debe garantizar que el sistema de limpieza pueda realizarse por gravedad y que la longitud de desagüe de la tubería no sea excesiva.
4. Los desarenadores deben ubicarse lo más cerca posible del sitio de la captación.
5. El fondo de la estructura debe estar preferiblemente por encima del nivel freático. En caso contrario deben tomarse las medidas estructurales correspondientes considerando flotación y subpresión.

### 4.6.2 Capacidad hidráulica

Cada desarenador debe tener una capacidad hidráulica igual al caudal máximo diario (QMD).

### 4.6.3 Velocidades en el desarenador

La velocidad de asentamiento vertical de una partícula sedimentable se calcula como función de la temperatura del agua y el peso específico de dicha partícula. Para el caso particular de desarenadores, el peso específico de las partículas de arenas que serán removidas por el desarenador se puede suponer igual que 2.65 gr/cm<sup>3</sup>.

Una vez establecidas las temperaturas del agua, el peso específico de la partícula y su diámetro, la velocidad de asentamiento se calcula de acuerdo con ecuación de Stokes mostrada a continuación:

$$v_s = \frac{(\rho_s - \rho) \times d^2 \times g}{18 \times \nu} \quad (\text{B. 4.3})$$

donde:

- $v_s$  = Velocidad de sedimentación (m/s).
- $\rho_s$  = Densidad de la partícula de arena (kg/m<sup>3</sup>).
- $\rho$  = Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>).
- $d$  = Diámetro de la partícula de arena (m).
- $g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).
- $\nu$  = Viscosidad cinemática del agua (m<sup>2</sup>/s).

La ecuación de Stokes es válida siempre y cuando el número de Reynolds de la partícula sea inferior o igual a 1.0.

El número de Reynolds de la partícula se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{v_s \times d}{\nu} \quad (\text{B. 4.4})$$

donde:

- $Re$  = Número de Reynolds de la partícula (adimensional).
- $v_s$  = Velocidad de sedimentación (m/s).
- $d$  = Diámetro de la partícula (m).
- $\nu$  = Viscosidad cinemática del agua (m<sup>2</sup>/s).

En caso que el número de Reynolds no cumpla la condición para la aplicación de la Ley de Stokes ( $Re < 1$ ), se debe realizar un reajuste al valor de la velocidad de asentamiento considerando la sedimentación de la partícula en régimen de transición ( $1 < Re < 10^4$ ).

Para este fin, se determina el coeficiente de arrastre  $C_D$  de acuerdo con Ecuación (B. 4.5), la cual sólo puede ser resuelta por iteración para la velocidad de asentamiento calculada según la Ecuación (B. 4.6) hasta que la velocidad de asentamiento converja:

$$C_D = \frac{24}{R_e} + \frac{3}{\sqrt{R_e}} + 0.34 \quad (\text{B. 4.5})$$

La velocidad de sedimentación de la partícula en la zona de transición se calcula mediante la Ecuación (B. 4.6).

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{g}{C_D} \times (\rho_s - 1) \times d} \quad (\text{B. 4.6})$$

Una vez establecida la velocidad de asentamiento vertical de la partícula, la relación entre la velocidad horizontal de flujo en el desarenador y dicha velocidad de asentamiento debe ser inferior a 20. Adicionalmente la velocidad máxima horizontal debe ser de 0.25 m/s. El diseño debe asegurar que todas las partículas sedimentables con diámetros superiores o iguales que 0.15 mm sean removidas por el desarenador. La eficiencia de éste no puede ser inferior al 80%.

#### 4.6.4 Dimensionamiento

La profundidad efectiva para el almacenamiento de arena en el desarenador debe estar comprendida entre 0.75 m y 1.50 m. La altura máxima, para efectos del almacenamiento de la arena, puede ser hasta el 100 % de la profundidad efectiva.

El consultor debe determinar y justificar la ubicación y las características de los desagües, teniendo en cuenta la profundidad efectiva del desarenador. Adicionalmente, se deben seguir las siguientes recomendaciones en el diseño del desarenador:

1. El largo debe ser como mínimo 4 veces el ancho.
2. El tiempo de retención de las partículas muy finas no debe ser menor de 20 minutos.
3. La velocidad del flujo debe ser menor que 1/3 la velocidad crítica.
4. La carga superficial máxima será de 1000 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día del área horizontal.
5. Se recomienda que la relación entre la longitud útil del desarenador y la profundidad efectiva para almacenamiento de arena sea 10 a 1.

#### 4.6.5 Accesorios y dispositivos

Para el diseño de desarenadores deben tenerse en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Deben proyectarse los dispositivos de entrada y salida de modo que aseguren una buena distribución transversal del flujo y se reduzca a un mínimo la posibilidad de corto circuito dentro del desarenador. La velocidad de paso en los orificios de la pantalla de entrada será inferior a 0.10 m/s.
2. La tubería o canal de llegada debe colocarse en el eje longitudinal del desarenador. Igual sucede en el caso de un canal situado aguas arriba del desarenador.
3. En la entrada debe instalarse un dispositivo para distribuir uniformemente el flujo a lo ancho de la sección transversal del desarenador.
4. El dispositivo de salida debe tener un canal recolector provisto de un vertedero que asegure una distribución uniforme del flujo en toda la sección transversal del desarenador.
5. El dispositivo de rebose debe tener un vertedero lateral ubicado cerca de la entrada del desarenador.
6. El dispositivo de limpieza debe ubicarse en el área de almacenamiento.
7. El desarenador siempre debe ser del tipo autolimpiante. Para esto, la estructura deberá tener tolvas en el fondo con pendiente superior a la inercia del material silíceo para permitir la evacuación hidráulica del material depositado en dichas estructuras. La tubería de desagüe y limpieza del desarenador debe diseñarse para una velocidad no menor a 2 m/s.
8. Las tuberías o canales de rebose y/o limpieza se unirán a una tubería o canal de descarga, los cuales deben tener un diámetro o ancho no menor de 0.25 m y/o una pendiente no menor del 2%.
9. Debe ubicarse una caja de inspección en la tubería de limpieza adyacente o lo más cerca posible de la descarga de arenas.

#### 4.6.6 Desarenadores con niveles variables

Si el proyecto incluye un desarenador con niveles variables, que dependen de los niveles de estiaje y de creciente en las fuentes, deben considerarse las condiciones de operación para los niveles máximo y mínimo.

#### 4.6.7 Desarenadores con remoción manual

En aquellos casos en que no sea posible el diseño de un desarenador autolimpiante y con la previa aprobación de la persona prestadora del servicio se podrán diseñar desarenadores con remoción manual. En este tipo de desarenadores, el depósito de arena debe ser capaz de acumular un mínimo equivalente al 10%

del volumen total del desarenador. El desarenador debe tener un ancho mínimo que permita el acceso y el libre movimiento de los operadores y del equipo auxiliar de limpieza. La pendiente de la placa de fondo estará comprendida entre el 5 y el 8% con el fin de obtener una limpieza eficiente y permitir que los obreros caminen sin resbalar.

## 4.7 Aspectos de la puesta en marcha

### 4.7.1 Canales

En el momento de entrar en operación por primera vez, los canales deben cumplir los siguientes requerimientos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, deben medirse los niveles y los caudales con el fin de corroborar lo establecido en el diseño.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio, deben medirse los niveles y los caudales con el fin de corroborar lo establecido en el diseño. Se recomienda hacer un análisis de las aguas con el fin de verificar la operación de los filtros de toma.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto, deben medirse los niveles y los caudales con el fin de corroborar lo establecido en el diseño. Es necesario hacer un análisis de los procesos de filtración aguas abajo de las estructuras de toma.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto, deben medirse los niveles y los caudales en los canales con el fin de corroborar lo establecido en el diseño. Es necesario hacer análisis de filtración de las aguas, aguas abajo de las estructuras de toma.

### 4.7.2 Rejillas

Una vez que entre en operación la obra de captación deben verificarse los siguientes aspectos en las rejillas:

1. Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, no se requiere verificar el coeficiente de pérdidas a través de las rejillas.
2. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, debe verificarse el coeficiente de pérdidas a través de las rejillas.

### 4.7.3 Desarenadores

Para todos los niveles de complejidad del sistema, una vez que los desarenadores entren en operación, debe probarse su capacidad durante por lo menos 24 horas con el caudal máximo diario y su sistema de autolimpieza.

Además, deben probarse todas las estructuras que componen el sistema de evacuación hidráulica de las arenas retenidas en el desarenador. En el caso de desarenadores operados manualmente, debe verificarse la viabilidad de la operación manual del desarenador.

## 4.8 Aspectos de la operación

### 4.8.1 Caudal

Una vez que el proyecto se encuentre en operación, y durante todo el período de vida útil del proyecto, deben verificarse los caudales teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, se deben realizar mediciones puntuales con una periodicidad mínima de 1 vez al mes.
2. Para los niveles de complejidad del sistema medio y medio alto, se debe medir el caudal a la entrada cada dos horas y guardar los registros con el fin de ser enviados, en caso de ser requeridos, a la SSPD.
3. Para el nivel de complejidad del sistema alto, debe medirse el caudal a la entrada de las estructuras de captación en forma continua y guardar los registros, con el fin de enviarlos, en caso de ser requeridos, a la SSPD. En este caso se recomienda que las mediciones se hagan a través de aparatos telemétricos, con el fin de que la persona prestadora del servicio conozca en tiempo real la cantidad de agua que se está captando de la fuente y para efectos del cobro de la tasa por uso del agua.

### 4.8.2 Calidad del agua

Con el fin de verificar la calidad del agua en la fuente durante todo el período de operación de las estructuras de la captación, y teniendo en cuenta las características de los análisis básicos mencionados en la Resolución 2115 de 2007 o la norma que la sustituya, modifique o adicione y los incluidos en el mapa de riesgo, deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, se recomienda una medición mensual de la calidad del agua.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio, debe efectuarse por lo menos un muestreo semanal en la bocatoma con el fin de hacer los análisis de laboratorio y establecer las condiciones de calidad del agua en la fuente, y detectar si están ocurriendo cambios en ésta. Se deben guardar estas informaciones en medio magnético, con el fin de ser enviadas, en caso de ser requeridas, a la SSPD.

3. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, deben efectuarse un muestreo diario en la bocatoma con el fin de hacer los análisis de laboratorio correspondientes y establecer la calidad del agua en las estructuras de captación. Es obligatorio guardar estos registros en medio magnético, con el fin de enviarlos, en caso de ser requeridos, a la SSPD.
4. En lo posible, para el nivel de complejidad del sistema alto, la captación debe instrumentarse telemétricamente con el fin de conocer en tiempo real la calidad del agua que está captándose. Es obligatorio guardar los registros de calidad del agua que entra a la fuente en medio magnético, con el fin de enviarlos, en caso de ser requeridos, a la SSPD.

### 4.8.3 Canales

Para la operación de los canales que formen parte de las estructuras de captación, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, deben medirse los niveles y los caudales en los canales, al menos una vez al año, con el fin de verificar la pendiente de la línea de gradiente hidráulico.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio, deben realizarse mediciones de caudales y niveles, al menos una vez al mes, con el fin de establecer la pendiente de la línea de gradiente hidráulico.
3. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, deben efectuarse mediciones de caudales y niveles semanalmente, con el fin de establecer la pendiente de la línea de gradiente hidráulico, lo cual permitirá conocer cambios en la rugosidad del canal o en el área mojada, causados por problemas de sedimentación o socavación. En este caso es recomendable la instrumentación de los canales con el fin de tener mediciones telemétricas en el centro de control de la persona prestadora de servicio.

La medición de caudal puede ser hecha en vertederos debidamente calibrados (NTC 3705) o utilizando canaleta Parshall (NTC 3933), molinetes (NTC 3945) o correntómetros acústicos de efecto Doppler (ASTM D 5389). Para la selección del tipo de vertedero puede utilizarse como guía la norma ASTM D 5640.

### 4.8.4 Rejillas

Una vez que las rejillas que formen parte de las estructuras de captación entren en operación deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. En caso que las rejillas formen parte de una toma de rejilla, deben estar formadas por secciones removibles para garantizar su limpieza. En este caso no se aceptará la colocación de mallas debido a la dificultad de limpieza.

2. La limpieza de las rejillas retenedoras de basuras debe realizarse en períodos iguales o inferiores a los recomendados por el consultor o cuando las pérdidas menores en éstas sean más altas que las establecidas en el diseño.
3. Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, se recomienda instrumentar las rejillas con el fin de conocer en tiempo real las pérdidas menores que ocurrán en éstas y programar las labores de limpieza.

## 4.8.5 Desarenadores

Una vez que los desarenadores que forman parte de las obras de captación entran en operación deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo no se requiere verificar la eficiencia de remoción y la capacidad de remoción de sedimento. Solamente en el caso de desarenadores operados manualmente, la persona prestadora del servicio debe verificar mensualmente la eficiencia del proceso de remoción y disposición de los sedimentos retenidos por el desarenador.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio se recomienda verificar la eficiencia de remoción de los desarenadores y la capacidad de remoción de sedimento durante la limpieza de éstos.
3. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, debe verificarse la eficiencia de remoción de los desarenadores y la capacidad de remoción de sedimento arenoso retenido por éstos, al menos una vez por mes.

# 4.9 Aspectos del mantenimiento

## 4.9.1 Mantenimiento y limpieza

Las operaciones de mantenimiento y limpieza de todas las estructuras que forman la obra de captación no deben interferir el normal funcionamiento de ésta.

## 4.9.2 Mantenimiento correctivo y preventivo

Todas las estructuras que forman parte de la obra de captación deben tener programas de mantenimiento correctivo y preventivo, de acuerdo con los siguientes requerimientos:

1. En el nivel de complejidad del sistema bajo, las labores de mantenimiento serán preferiblemente correctivas.

2. Para el nivel de complejidad del sistema medio, las labores de mantenimiento serán preferiblemente correctivas pero se recomiendan mantenimientos preventivos.
3. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, las labores de mantenimiento siempre deben ser preventivas.
4. Para todos los niveles de complejidad del sistema, las labores de mantenimiento de todo equipo electromecánico deben ser preventivas.

### 4.9.3 Control de sedimentos

Con el fin de mantener un control efectivo sobre los sedimentos que entran a las estructuras de captación, deben considerarse los siguientes requisitos:

1. Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, debe mantenerse control sobre la disposición de los sedimentos retenidos por el desarenador. Los sedimentos deben retornar al río o a la fuente aguas abajo de las estructuras de captación. En caso que esto no sea factible los sedimentos deben depositarse en zonas adecuadas previamente.
2. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, la persona prestadora del servicio encargada del abastecimiento del agua potable debe mantener un conocimiento pleno del tipo de sedimentos que se retienen en el desarenador, a través de análisis granulométricos. Para el nivel de complejidad del sistema medio se recomienda que la persona prestadora del servicio conozca permanentemente el tipo de sedimentos que se retienen en el desarenador. Los sedimentos deben depositarse en zonas adecuadas previamente.

### 4.9.4 Dragado de canales

En el caso que la estructura de captación incluya un canal situado aguas arriba de la primera estructura de rejillas, deben realizarse dragados de mantenimiento teniendo en cuenta lo que se cumpla primero de los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, el canal situado aguas arriba debe dragarse cuando la capacidad hidráulica máxima de éste se reduzca en un 25%, o una vez al año.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio, el canal localizado aguas arriba debe dragarse cuando la capacidad hidráulica máxima se reduzca en un 20%, o una vez al año.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto, el canal ubicado aguas arriba debe dragarse cuando la capacidad hidráulica se reduzca en un 15%, o una vez cada 6 meses.

4. Para el nivel de complejidad del sistema alto, será responsabilidad de la persona prestadora del servicio mantener la capacidad hidráulica del canal localizado aguas arriba de la estructura de toma. Sin embargo, se recomienda que se hagan dragados cuando la capacidad hidráulica máxima se reduzca en un 10%, o una vez cada 6 meses.

## 4.9.5 Lavado y limpieza de las estructuras de la obra de captación

### 4.9.5.1 Canales

Para el caso de los canales que conformen la estructura de captación aguas abajo de la primera estructura de rejilla se requieren las siguientes labores mínimas de mantenimiento:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo se recomienda lavado y limpieza anual.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio, el lavado y la limpieza de los canales es obligatorio una vez al año.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto, el lavado y la limpieza de los canales debe realizarse semestralmente.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto, será responsabilidad de la persona prestadora del servicio mantener lavados y limplos los canales. Será obligatorio realizar mediciones constantes para verificar la capacidad hidráulica de los canales.

### 4.9.5.2 Rejillas

El mantenimiento de las rejillas debe cumplir los siguientes requisitos mínimos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo se recomienda un mantenimiento estructural y estético de la rejilla una vez cada año.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio será obligatorio un mantenimiento al menos una vez al año.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto, el mantenimiento de las rejillas debe realizarse por lo menos una vez cada seis meses.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto, el mantenimiento de las rejillas será responsabilidad de la persona prestadora del servicio. Se recomienda un mantenimiento de las rejillas una vez cada seis meses.

#### 4.9.5.3 Desarenadores

En el caso de los desarenadores debe realizarse mantenimiento estructural y mecánico de todos los elementos que lo conforman, como difusores de flujo, uniformizadores de flujo, compuertas, válvulas, vertederos, etc., teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo se recomienda un mantenimiento al menos una vez al año.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio será obligatorio hacer un mantenimiento una vez al año.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto será obligatorio hacer un mantenimiento al menos una vez cada seis meses.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto será responsabilidad de la persona prestadora el mantener en perfecto estado de funcionamiento todas las estructuras que forman parte integral de los desarenadores. Se recomienda un mantenimiento al menos una vez cada seis meses.

## TÍTULO B

### CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA

# **5. CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA**

## **5.1 Alcance**

En este capítulo se establecen los criterios básicos y requisitos mínimos que deben cumplir las captaciones de agua subterránea en los diferentes procesos involucrados en su desarrollo, tales como la conceptualización, el diseño, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento, con el fin de garantizar seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia en las captaciones dentro de un nivel de complejidad del sistema determinado.

Las prescripciones establecidas en el presente capítulo deben aplicarse a los cuatro niveles de complejidad del sistema a menos que se especifique lo contrario.

## **5.2 Estudios previos**

El consultor debe realizar todos los estudios previos que garanticen un conocimiento pleno de las características de la zona de captación, la geología, la geotecnia, la topografía, la hidrología, la hidrogeología y la calidad del agua en la zona de captación. Los estudios previos y sus alcances son:

### **5.2.1 Concepción del proyecto**

Durante la concepción del proyecto el consultor debe establecer las condiciones generales de diseño y la localización del pozo. Además, debe seguir los lineamientos sobre planificación, determinación del objetivo y priorización de proyectos establecidos en el Título A del RAS: “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico”.

#### **5.2.1.1 Justificación del uso de la fuente**

Como regla, las fuentes de agua subterránea pueden utilizarse cuando las formaciones geológicas indiquen la presencia de un acuífero con una cantidad de agua tal que satisfaga las necesidades del proyecto y con una calidad adecuada, que permita la construcción de un sistema económico, seguro y confiable.

#### **5.2.1.2 Marco Institucional**

Deben seguirse todos los lineamientos de marco jurídico establecidos en el literal B.1.2.1.3 de este Título.

Además, debe cumplirse la normatividad vigente sobre el tema.

Es posible predecir la profundidad y productividad de un acuífero por las condiciones de otros pozos en las proximidades de la zona de interés (a profundidades y condiciones geológicas e hidráulicas similares).

Los proyectos de captaciones de aguas subterráneas justifican una exploración efectuada por un profesional de la hidrogeología.

## 5.2.2 Análisis de costo mínimo

Debe realizarse un análisis de costo mínimo, según lo establecido en el capítulo A.8 “Evaluación socioeconómica” del Título A del RAS antes de la ejecución de cualquier proyecto de aprovechamiento de aguas subterráneas. El análisis debe incluir el costo de operación del equipo de bombeo y la localización adecuada de los pozos de perforación.

## 5.2.3 Estudio de la demanda

Debe realizarse un estudio de la demanda del sistema por abastecer según los lineamientos del capítulo B.2 de este Título y deben hallarse las pérdidas en la aducción y las necesidades de agua en la planta de tratamiento, para determinar la capacidad total de la obra de captación de agua subterránea.

## 5.2.4 Aspectos generales de la zona

Debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el Literal B.3.4.1.3 de este Título, sobre aspectos generales de la zona de la fuente, así como los estudios a realizar en la zona del acuífero y las características de las fuentes subterráneas, establecidas en el Literal B.3.5 de este título.

Además, debe determinarse un mapa que ubique claramente los drenajes naturales, las corrientes principales, las formas de depósitos presentes, los cauces antiguos, las zonas de meandros, las zonas de pantano, las zonas de recarga y otros elementos geográficos que describan adecuadamente la zona del acuífero.

## 5.2.5 Inventario de captaciones subterráneas (pozos, aljibes y manantiales)

El consultor debe incluir un inventario de pozos, aljibes y manantiales existentes que indique para cada uno la localización, la profundidad, el diámetro, el tipo de terreno, el nivel dinámico de bombeo, el nivel estático inicial, la producción, el equipo de bombeo utilizado y la calidad físico-química del agua.

En las captaciones existentes deben estimarse los niveles estático y dinámico durante el bombeo, indicando el punto de referencia de estas medidas.

## 5.2.6 Estudios topográficos

Debe cumplirse lo establecido en el literal B.3.5.1.3 de este Título.

## 5.2.7 Condiciones geológicas

Debe seguirse lo establecido en el literal B.3.5.1.4 de este Título. Deben determinarse las principales formaciones y fallas geológicas así como el control que éstas puedan ejercer sobre el flujo y el almacenamiento del agua subterránea.

Durante el estudio geológico deben utilizarse las siguientes herramientas:

### 5.2.7.1 Reconocimiento fotogeológico

Debe realizarse un estudio fotogeológico, mediante la interpretación de fotografías aéreas a escalas adecuadas, pero nunca menos detalladas que una escala 1:60000. El estudio debe determinar los tipos de drenaje, clasificación de las corrientes, formaciones aluviales, tapones arcillosos, zonas de meandros, zonas de pantano, alineamiento, fracturas, fallas, estructuras geológicas, plegamientos y zonas de recarga.

### 5.2.7.2 Investigación geológica

Debe realizarse un levantamiento de columna estratigráfica representativo que determine formaciones geológicas, tamaño de las partículas, gradación, espesores de las formaciones, fallas, permeabilidad, porosidad y tiempo de perforación en cada estrato. Los procesos de investigación geológica deben abarcar en su objetivo lo establecido en la Norma AWWA-A100, Sección 2. En caso que el nivel de complejidad del proyecto lo amerite, se podrá complementar la investigación geológica con métodos de investigación litológica directa tales como tecnología de empuje directo (DPT), rotación directa con testigo, percusión con cable o rotación con circulación inversa.

### 5.2.7.3 Sondeos geofísicos

En caso que no haya suficiente información hidrogeológica para determinar la profundidad de las formaciones, debe adelantarse una investigación geoeléctrica de mínimo tres (3) sondeos por cada 1 a 2 Km<sup>2</sup>, calculando las resistividades eléctricas de cada unidad geoeléctrica. El espaciamiento entre los electrodos debe permitir la ubicación de las diferentes unidades de interés, siempre que haya contrastes en la resistividad.

En los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, el estudio puede complementarse con otros métodos geofísicos como son: refracción sísmica, electromagnetismo, gravimetría, magnetometría, polarización inducida, geoelectricidad continua y tomografía, entre otros.

## 5.2.8 Estudios hidrológicos

Debe seguirse lo establecido en el literal B.3.5.1.5 de este Título, referente al contenido de los estudios hidrológicos de la zona.

## 5.2.9 Estudios hidrogeológicos

Debe seguirse lo establecido en el literal B.3.5.1.6 de este Título. Además, en la zona del acuífero y sus alrededores deben estimarse los niveles de infiltración y debe realizarse un balance hídrico de la cuenca que determine su capacidad de recarga y descarga. Los parámetros hidrogeológicos se determinarán preferiblemente con base en pruebas de bombeo; dependiendo de la información y de la disponibilidad de piezómetros o pozos de observación, se podrán realizar prueba de valdeo (*slug*) y análisis por medio de modelos de simulación.

### 5.2.9.1 Pruebas de bombeo

Deben realizarse las pruebas de bombeo necesarias en cada pozo a fin de determinar las propiedades hidrogeológicas de las formaciones, las cuales deben incluir como mínimo la transmisividad, la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento o producción eficaz, dependiendo del tipo de acuífero. Cuando existan condiciones semiconfinadas también se deberá determinar el coeficiente de goteo o filtración.

El número de pruebas y la duración de cada una serán establecidas según la necesidad de cada acuífero para determinar completamente sus características.

La prueba debe realizarse en el sitio del pozo preferiblemente con un pozo testigo (o de observación) como mínimo. Cuando únicamente se disponga del pozo de bombeo se deben calcular las pérdidas de altura hidráulica mediante pruebas escalonadas o intermitentes.

### 5.2.9.2 Análisis de interferencia

En el caso que existan pozos antiguos, o que el proyecto tenga previstos más de dos pozos, debe realizarse un análisis de interferencia entre los pozos mediante modelos analíticos o numéricos, o en su defecto calcular el radio de influencia y el abatimiento de cada pozo para el caudal máximo que pueda presentarse, para el período de diseño de los pozos.

### 5.2.9.3 Infiltración y Recarga

Debe estimarse por lo menos la infiltración natural en el acuífero mediante estudios hidrológicos que incluyan balance de agua, considerando la extracción del caudal demandado. En el caso de contemplar recarga artificial se debe realizar un estudio de recarga acompañado de balance hídrico de la zona.

### 5.2.10 Transporte y comunicaciones

Antes de iniciar cualquier proyecto de diseño, construcción o ampliación de un sistema de acueducto, es necesario conocer y establecer toda la infraestructura de comunicaciones y de transporte en el municipio objeto del proyecto. En particular se deben conocer todos los caminos, carreteras, aeropuertos, ferrocarriles, telecomunicaciones, etc. Adicionalmente en este estudio deben quedar establecidas todas las facilidades existentes para la construcción, mantenimiento y operación de los sistemas de agua potable.

### 5.2.11 Suministro de energía eléctrica

Como parte de los estudios previos, se debe establecer la disponibilidad de energía eléctrica en las áreas en las cuales se van a desarrollar los proyectos de sistemas de acueducto o partes componentes de éste, especialmente en las fuentes de abastecimiento donde se vaya a captar el agua mediante sistemas de bombeo.

## 5.3 Condiciones generales

Dependiendo del tipo de fuente de agua subterránea disponible, la explotación se puede realizar a través de manantiales, galerías filtrantes, pozos excavados o pozos profundos. Un manantial se define como el lugar donde el acuífero se manifiesta en la superficie. Las galerías filtrantes son estructuras construidas próximas a ríos que permiten captar el agua subálvea por filtración y extraerla por gravedad o bombeo. Los pozos excavados son estructuras de poca profundidad utilizadas para captar aguas subsuperficiales o freáticas, estas aguas se caracterizan por estar a presión atmosférica, a poca profundidad o relativamente baja y no estar confinadas. Los pozos profundos son estructuras y/o dispositivos utilizados para la explotación directa o la captación de agua subterránea almacenada en los acuíferos.

Las características mínimas de las captaciones de aguas subterráneas, así como su ubicación, deben seguir las condiciones básicas descritas a continuación:

### 5.3.1 Seguridad

La obra de captación debe garantizar la operación de la toma de agua subterránea. En particular se debe garantizar el caudal de la captación o captaciones durante su período de diseño.

### 5.3.2 Lejanía de toda fuente de contaminación

En general, los pozos y captaciones de agua subterránea deben estar alejados y aislados de toda fuente de contaminación real o potencial, estableciendo una distancia suficiente para protegerlas del efecto de la fuente contaminante.

En particular para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, dentro de los niveles de agua subterránea captados, se establece una distancia mínima de 100 m, para capas arenosas, entre la captación de agua subterránea y elementos tales como pozos sépticos, letrinas, campos de infiltración, rellenos sanitarios, tanques de combustibles, pozos abandonados, etc. En caso de capas con granulometría fina (arcillas o limos) la distancia mínima puede ser de 30 m.

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, se deben realizar estudios específicos de riesgo que incluyan los siguientes factores: tiempos de viaje, caudal y capacidad de atenuación desde la fuente de contaminación hasta la captación, de tal forma que se demuestre que el riesgo de contaminación es mínimo o nulo.

### 5.3.3 Accesos

Las captaciones artificiales de agua subterránea deben ubicarse en un lugar de fácil acceso y en una zona no inundable.

### 5.3.4 Cerramientos y protección sanitaria

La zona aledaña al pozo debe contar con los medios de protección y cercados necesarios para evitar la entrada de personas y animales extraños. Igualmente, sobre la cuenca deben tomarse todas las medidas legales necesarias para asegurar la calidad del agua y la protección de la cuenca, establecidas en el literal B.3.3.

### 5.3.5 Facilidad de operación y mantenimiento

La captación debe ser fácil de operar y debe diseñarse de tal forma que opere con el mínimo de mantenimiento.

## 5.3.6 Vulnerabilidad y confiabilidad

En caso de existir un elevado nivel de vulnerabilidad de la captación a eventos como sismos, inundaciones, contaminación y otras amenazas posibles, según lo establecido en el capítulo G.6 del Título G del RAS: “Aspectos complementarios”, la captación debe ser redundante en los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto.

# 5.4 Diseño de pozos

## 5.4.1 Período de diseño

### 5.4.1.1 Pozos profundos

De conformidad con la Resolución 2320 de 2009, para el caso de obras de captación de agua subterránea (pozos profundos), el período de diseño se especifica en la tabla B. 5.1.

**Tabla B. 5.1 Período de diseño para las obras de captación de agua subterránea**

Nivel de Complejidad del Sistema	Período de Diseño
Bajo, Medio, Medio Alto	25 años
Alto	30 años

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, las obras de captación de agua subterránea deberán ser analizadas y evaluadas teniendo en cuenta el período de diseño máximo, llamado también horizonte de planeamiento de proyecto; y si técnicamente es posible, se deberán definir las etapas de construcción de los pozos profundos, según las necesidades del proyecto, basados en la metodología de costo mínimo, tal como se recomienda en el literal B.5.2.2.

### 5.4.1.2 Pozos excavados

Los pozos excavados tendrán un período de diseño de 15 años para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio.

## 5.4.2 Caudal de diseño

Las obras de captación de agua subterránea deben tener una capacidad igual al caudal máximo diario, QMD, si el sistema de acueducto cuenta con almacenamiento. En caso contrario la capacidad de la obra debe ser el caudal máximo horario QMH.

## 5.4.3 Pozos profundos

### 5.4.3.1 Número mínimo de pozos profundos

1. Para el Nivel de complejidad del sistema bajo se permite la construcción de un único pozo.
2. Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto debe contarse con un mínimo de un pozo más un pozo de redundancia o reserva. El número de pozos debe tener una capacidad sumada igual al caudal de diseño. El pozo de redundancia debe tener una capacidad igual a la de los demás pozos de operación.
3. Para el nivel de complejidad del sistema alto, debe tenerse un mínimo de dos pozos de operación normal con una capacidad sumada igual al caudal de diseño más las pérdidas en la aducción y las necesidades en la planta de tratamiento. Debe colocarse un pozo de reserva por cada 5 pozos de operación normal, con igual capacidad a los de producción.

### 5.4.3.2 Parámetros hidráulicos

Deben conocerse los parámetros hidráulicos del acuífero, aplicando el método más adecuado de acuerdo con el tipo de flujo, ya sea con régimen permanente o régimen variable. En caso de ser necesario, la evaluación de los parámetros hidráulicos debe considerar la superposición de pozos e interferencia, los acuíferos limitados por barreras impermeables o bordes de recarga o el caso de acuífero libre con drenaje diferido.

El cálculo de los parámetros hidráulicos debe basarse fundamentalmente en pruebas de bombeo, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D 4043. Se debe registrar el caudal, los abatimientos o descensos en función del tiempo y la distancia en donde se miden los descensos. En caso que se utilice el mismo pozo de bombeo como pozo de observación se deben descontar las pérdidas de altura hidráulica dentro del sistema pozo-filtro-rejilla.

Según el tipo de acuífero, puede tomarse alguna de las siguientes expresiones para el cálculo de los parámetros hidráulicos:

#### 1. Acuíferos confinados

Se utiliza la ecuación de Theis, la cual está dada por:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (\text{B. 5.1})$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (\text{B. 5.2})$$

$$T = K \times b \quad (\text{B. 5.3})$$

donde:

- $Q$  = Caudal de bombeo del pozo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- $s$  = Abatimiento (m).
- $r$  = Distancia al punto de observación (m).
- $t$  = Tiempo desde que comenzó el bombeo (s).
- $T$  = Transmisividad ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).
- $K$  = Conductividad hidráulica del acuífero (m/s).
- $b$  = Espesor del acuífero (m).
- $S$  = Coeficiente de almacenamiento (Adimensional).
- $W(u)$  = Función de pozo para acuíferos confinados.

La función de pozo  $W(u)$  para acuíferos confinados está dada por la siguiente ecuación:

$$W(u) = \int_u^\infty x \frac{e^{-x}}{x} dx = -0.5772 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots$$

Cuando  $u < 0.01$  (usualmente para tiempos largos y/o distancia corta) se puede aplicar la ecuación de Jacob, la cual está dada por:

$$s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log\left(\frac{2.25Tt}{r^2 S}\right) \quad (\text{B. 5.5})$$

Siempre que:

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t} < 0.01 \quad (\text{B. 5.6})$$

## 2. Acuíferos semiconfinados

Se utiliza la ecuación de Hantush (o método de Walton), la cual está dada por:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W\left(u, \frac{r}{B}\right) \quad (\text{B. 5.7})$$

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t} \quad (\text{B. 5.6})$$

$$B = \sqrt{T \cdot c} \quad (\text{B. 5.9})$$

$$c = \frac{b'}{K'} \quad (\text{B. 5.10})$$

donde:

- $Q$  = Caudal de bombeo del pozo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- $s$  = Abatimiento (m).
- $r$  = Distancia al punto de observación (m).
- $t$  = Tiempo desde que comenzó el bombeo (s).
- $T$  = Transmisividad ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).
- $S$  = Coeficiente de almacenamiento (Adimensional).
- $B$  = Factor de goteo del acuífero (m).
- $c$  = Resistencia hidráulica de la capa semiconfinante (s).
- $b'$  = Espesor de la semiconfinante (m).
- $K'$  = Conductividad hidráulica de la capa semiconfinante ( $\text{m}/\text{s}$ ).

### 3. Acuíferos libres

Se utiliza la ecuación de Neuman, la cual está dada por:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u_A u_B \eta) \quad (\text{B. 5.11})$$

$$u_A = \frac{r^2 S}{4 T t} \quad (\text{B. 5.12})$$

$$u_B = \frac{r^2 S_y}{4 T t} \quad (\text{B. 5.13})$$

$$\eta = \frac{r^2 K_2}{b^2 K_\gamma} \quad (\text{B. 5.14})$$

donde:

- $Q$  = Caudal de bombeo del pozo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- $s$  = Abatimiento (m).
- $r$  = Distancia a punto de observación (m).

$t$	= Tiempo desde que comenzó el bombeo (s).
$T$	= Transmisividad ( $m^2/s$ ).
$S$	= Coeficiente de almacenamiento (para tiempos cortos, utilizando $\mu A$ ) (Adimensional).
$S_y$	= Rendimiento eficaz (para tiempos largos, utilizando $\mu_b$ ) (Adimensional).
$b$	= Espesor saturado del acuífero (m).
$K_r$	= $K$ = Conductividad hidráulica radial (horizontal) del acuífero (m/s).
$K_z$	= Conductividad hidráulica vertical del acuífero (m/s).

Para tiempos largos se puede utilizar la ecuación de Theis en forma aproximada cambiando  $S$  por  $S_y$ , y haciendo la siguiente corrección del abatimiento:

$$s^* = s - \frac{s^2}{2b} \quad (\text{B. 5.15})$$

donde:

- $s^*$  = Abatimiento corregido (m).
- $s$  = Abatimiento medido (m).
- $b$  = Espesor saturado del acuífero (m).

### 5.4.3.3 Rejillas

Para las especificaciones de las rejillas, debe cumplirse con lo establecido en la Norma AWWA A-100. Sección 5.

#### 5.4.3.3.1 Diámetro de rejillas

El diámetro de las rejillas debe ser adoptado para tener un área hueca de captación en la rejilla suficientemente grande para poder bombear el caudal de extracción esperado en el pozo, obteniendo una velocidad óptima según la permeabilidad del medio.

En todo caso, el consultor debe conocer el área libre en función del diámetro y la apertura de la rejilla. Además, deben tenerse en cuenta las siguientes restricciones:

1. El diámetro de la rejilla no podrá ser superior al diámetro de la camisa del pozo.
2. En caso de niveles de bombeo bajos, el diámetro de la rejilla debe estar fijado por el diámetro de la tubería de succión de la bomba.

El diámetro mínimo será de 150 mm. En casos especiales, puede adoptarse un diámetro menor que 150 mm, siempre y cuando el consultor presente el estudio técnico y las memorias de cálculo que justifiquen una reducción en el diámetro.

En ningún caso, el diámetro del pozo puede ser menor al diámetro del equipo de bombeo.

En pozos profundos con un nivel dinámico ubicado a una distancia no mayor que 10 metros por debajo de la superficie del terreno, el diámetro de la tubería de revestimiento puede reducirse desde la superficie del terreno hasta el límite que permita el diámetro de la bomba. Por debajo de la máxima profundidad en la que se desee colocar la bomba, la reducción del diámetro puede ser mayor.

#### 5.4.3.3.2 Longitud y ubicación de rejillas

La longitud de la rejilla debe ser suficiente para bombeo el caudal de extracción esperado en el pozo, buscando siempre el menor abatimiento. Sin embargo, la longitud mínima de la rejilla está dada por la Ecuación (B. 5.16).

$$Lr_{\min} = \frac{0.0054 \times Q_d}{A_e \times V_e} \quad (\text{B. 5.16})$$

donde:

- $Lr_{\min}$  = Longitud mínima de la rejilla (m).
- $Q_d$  = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- $A_e$  = Área efectiva de rejilla por metro de rejilla ( $\text{m}^2/\text{m}$ ).
- $V_e$  = Velocidad de entrada a la rejilla ( $\text{m/s}$ ).

Para determinar la longitud de la rejilla deben tenerse en cuenta las siguientes disposiciones:

1. En el caso de un acuífero libre homogéneo, la longitud de la rejilla debe estar entre 1/3 y 1/2 del espesor del acuífero, y ésta debe instalarse en la parte inferior del acuífero.
2. En el caso de un acuífero libre no homogéneo, la longitud de la rejilla debe ser igual a la longitud del estrato más permeable, estrato en el cual debe colocarse la rejilla. La ubicación de la rejilla debe ser simétrica en el estrato en el que se coloque.
3. En el caso de un acuífero confinado homogéneo, la longitud de la rejilla debe estar entre el 70% y el 80% del espesor del acuífero. La ubicación de la rejilla debe ser simétrica en el estrato en el que se coloque.
4. En el caso de un acuífero confinado no homogéneo, la rejilla debe colocarse en el estrato más permeable, aprovechando la totalidad del estrato. La ubicación de la rejilla debe ser simétrica en el estrato en el que se coloque.
5. No debe colocarse rejilla por encima del nivel dinámico de bombeo.

### 5.4.3.3.3 Apertura de rejillas

La apertura de las rejillas debe determinarse según la granulometría del acuífero, teniendo en cuenta las siguientes especificaciones:

1. En el caso de un acuífero homogéneo que no requiera empaque de grava, según lo estipulado en el literal B.5.5.3 de este Título, y con un coeficiente de uniformidad mayor que 6, la apertura debe ser de tal tamaño que retenga entre el 30% y el 40% de la formación acuífera.
2. En el caso de un acuífero homogéneo que no requiera empaque de grava, según lo estipulado en el literal B.5.5.3 de este Título, y con un coeficiente de uniformidad menor que 6, la apertura debe ser de tal tamaño que retenga entre el 40% y el 50% de la formación acuífera.
3. En el caso de un acuífero no homogéneo, la apertura de la rejilla debe variarse según la granulometría a lo largo del acuífero. Si una capa de material fino aparece sobre un material grueso, se recomienda prolongar 0.6 m en profundidad la rejilla del estrato fino, penetrando en el estrato más grueso.
4. En los demás casos debe colocarse una apertura de rejillas igual a la mitad del tamaño correspondiente al 15% del material que pasa en la curva granulométrica, D15, de la formación acuífera.

### 5.4.3.3.4 Material de las rejillas

El material de las rejillas debe resistir la presencia de películas microbiológicas, la corrosión por las sales y los minerales del agua y los correspondientes esfuerzos mecánicos en la zona de captación. Además, debe resistir a las sustancias químicas y elementos mecánicos utilizados en la limpieza y mantenimiento posteriores.

### 5.4.3.3.5 Velocidad en rejillas

La velocidad en las rejillas debe estar entre 0.30 m/s y 0.45 m/s. En caso de tener una velocidad inferior por debajo de la mínima establecida, es recomendable disminuir el diámetro de la rejilla.

## 5.4.3.4 Profundidad y distancia entre pozos

### 5.4.3.4.1 Profundidad del pozo

El pozo profundo debe tener una profundidad suficiente para que el filtro penetre en la zona saturada, cumpliendo con las siguientes especificaciones:

1. En acuíferos libres debe tenerse en cuenta el abatimiento del pozo durante el bombeo y la totalidad de la zona de captación

- (rejillas) debe estar por debajo del nivel dinámico calculado para la operación con el caudal máximo posible.
2. En acuíferos confinados la zona de captación debe cubrir un 80% del espesor del acuífero; sin embargo, en acuíferos costeros donde se puede presentar problemas de intrusión de la cuña marina, la profundidad del pozo puede ser inferior a 80%.

#### 4.3.4.2 Distancia entre pozos

La distancia entre pozos debe fijarse de tal manera que el rendimiento de toda la captación sea suficiente para cumplir con el caudal de diseño.

Para determinar la distancia mínima deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

1. Debe calcularse el radio de influencia de un pozo y debe realizarse un análisis de interferencia entre todos los pozos del acuífero, utilizando preferiblemente modelos numéricos y como mínimo modelos analíticos.
2. En el caso de modelos analíticos, el abatimiento en un punto se tomará como la suma de las depresiones producidas en el mismo sitio por el bombeo individual de cada uno de los pozos, más la influencia de barreras positivas y negativas.
3. En los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, la distancia mínima entre dos pozos será de 100 m.
4. En los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto la distancia entre pozos debe establecerse por medio de modelos de interferencia analíticos o numéricos, incluyendo un análisis económico en la operación del sistema, teniendo en cuenta el efecto de los posibles abatimientos, en los costos de extracción del agua.

#### 5.4.4 Pozos excavados

Sólo se permitirá este tipo de pozos en los niveles de complejidad del sistema bajo y medio.

Se adelantará el diseño y construcción de pozos excavados cuando se crea conveniente utilizar el agua freática o subálvea. El terreno para este tipo de pozos debe estar libre de fracturas, grietas o socavaciones que permitan la contaminación por infiltración de agua superficial.

##### 5.4.4.1 Métodos de cálculo

Debe seguirse la metodología para el cálculo de caudales según el literal B.5.4.3.2 de este Título, pero descontando el caudal aportado por el

almacenamiento en el mismo pozo, entre los intervalos de tiempo de medición. Se debe aplicar superposición dado que a pesar que el caudal de bombeo de los pozos puede ser constante, en pozos de gran diámetro, el caudal de bombeo del acuífero generalmente no es constante. El caudal  $Q_a$  del acuífero en cada intervalo de medición se puede calcular como:

$$Q_s = \frac{\pi \times r_w^2 \times \Delta s}{\Delta t} \quad (\text{B. 5.17})$$

$$Q_a = Q - Q_s \quad (\text{B. 5.18})$$

donde:

- $\Delta t$  = Intervalo de medición (variable a lo largo de la prueba) (s).
- $Q_s$  = Caudal proveniente del almacenamiento del pozo durante el tiempo  $\Delta t$  ( $m^3/s$ ).
- $Q$  = Caudal extraído del pozo (generalmente constante) durante el tiempo  $\Delta t$  ( $m^3/s$ ).
- $Q_a$  = Caudal que se extrae del acuífero en el intervalo  $\Delta t$  ( $m^3/s$ ).
- $\Delta s$  = Diferencia de abatimiento registrado en el intervalo  $\Delta t$  (m).

Otra forma de análisis es mediante la siguiente ecuación modificada de Theis para incluir almacenamiento en el mismo pozo:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \times F(u_w, a) \quad (\text{B. 5.19})$$

$$u_w = \frac{r_w^2 S}{4 T t} \quad (\text{B. 5.20})$$

$$a = \frac{r_w^2 S}{r_c^2} \quad (\text{B. 5.21})$$

donde:

- $r_w$  = Radio efectivo de la rejilla o del pozo abierto (m).
- $r_c$  = Radio (del revestimiento) del pozo en donde cambian los niveles de agua (m).

#### 5.4.4.2 Diámetro

El diámetro de un pozo excavado debe determinarse según la capacidad de diseño esperada, atendiendo las siguientes observaciones:

1. En el nivel de complejidad del sistema bajo, el diámetro mínimo debe ser 1.0 m.
2. En el nivel de complejidad del sistema medio, el diámetro mínimo debe ser 1.5 m.

#### 5.4.4.3 Número de pozos

En el nivel de complejidad del sistema bajo debe tenerse un mínimo de dos pozos, con capacidad sumada igual al caudal máximo horario (QMH), cuando no exista almacenamiento en el sistema de acueducto e igual al caudal máximo diario (QMD), cuando exista almacenamiento.

En el nivel de complejidad del sistema medio deben tenerse mínimo tres pozos, dos de ellos con capacidad sumada igual al caudal máximo horario (QMH), cuando no exista almacenamiento en el sistema de acueducto e igual al caudal máximo diario (QMD), cuando exista almacenamiento.

#### 5.4.4.4 Profundidad

Los pozos excavados deben tener una profundidad menor que 20 m, atendiendo las siguientes disposiciones:

1. La profundidad del pozo debe asegurar suficiente sumergencia del equipo de bombeo.
2. La profundidad del pozo debe asegurar suficiente penetración en la capa freática para captar el caudal de diseño.

#### 5.4.4.5 Cubierta

Todo pozo excavado debe llevar, en su parte superior, una cubierta de concreto reforzado provista de cierre hermético. La losa de la cubierta debe sobresalir por lo menos 0.2 m. por encima del nivel de la losa del piso. Además, la unión entre la tubería de succión y la losa de la cubierta debe sellarse de tal forma que no ocurran filtraciones.

#### 5.4.4.6 Revestimientos

Todo pozo excavado debe estar revestido internamente en mampostería o en concreto hasta una profundidad mínima de 5 m desde la superficie del terreno.

#### 5.4.4.7 Filtro

Debe preverse un filtro en el fondo del pozo, con capas de material de dimensiones variables, colocándose el más fino arriba y el más grueso abajo, asegurando que el tamaño del material del filtro retenga el material del terreno.

### 5.4.5 Captación de manantiales

Las captaciones de manantiales están permitidas únicamente para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio.

Este tipo de captaciones se recomienda cuando el agua subterránea aflora en la superficie. Para este tipo de obras deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. El manantial debe aislarse y captarse por medio de una caja o pozo de concreto reforzado para prevenir su contaminación.
2. Debe colocarse un prefiltro y una rejilla a la entrada de la caja o pozo de captación.
3. Debe preverse la colocación en la caja o pozo de concreto de un vertedero de evacuación de excesos.
4. Debe colocarse una salida con válvula de compuerta hacia la aducción del sistema.
5. Debe colocarse una válvula de desagüe del vaciado de la caja o pozo de concreto en las labores de limpieza y mantenimiento.
6. Las aguas superficiales pueden dirigirse al pozo de captación por medio de una zanja de coronación.

## 5.4.6 Equipo de bombeo

El tipo de bomba a utilizar en la explotación de un pozo debe ser producto de un análisis económico en los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto.

En las especificaciones del equipo de bombeo debe tenerse en cuenta la Norma Técnica NTC 1595.

### 5.4.6.1 Capacidad

La capacidad de la bomba y la potencia del motor serán suficientes para elevar el caudal de bombeo a la máxima altura piezométrica esperada.

### 5.4.6.2 Localización

Para localizar la bomba debe considerarse la depresión piezométrica o el abatimiento del pozo, garantizando siempre total sumergencia del equipo de bombeo para la máxima depresión prevista.

### 5.4.6.3 Tipo de motor

Deben estudiarse las alternativas para determinar la fuente de energía más eficiente y económica.

## 5.5 Obras adicionales en los pozos profundos

### 5.5.1 Revestimientos

Todo pozo profundo en que se utilicen tuberías metálicas debe llevar tubos de revestimiento interno cuando se encuentre que la calidad del agua puede originar corrosión de éstas. Los tubos de revestimiento interno deben sobresalir un mínimo de 0.3 m por encima de la losa de protección del pozo.

Todo revestimiento debe cumplir con lo establecido en la Norma AWWA A100-90, Sección 4.

#### 5.5.1.1 Material

El material de los revestimientos debe ser de tal calidad que resista los esfuerzos mecánicos en el pozo profundo y la corrosión del agua. Además, dependiendo de su material, el revestimiento debe cumplir las normas técnicas establecidas en la tabla B. 5.2

**Tabla B. 5.2 Normas técnicas que deben cumplir los revestimientos según el material**

Material	Norma técnica
Acero común	ASTM A211
Acero forjado	ASTM A714
Acero inoxidable	ASTM A409
Plástico	ASTM F480

#### 5.5.1.2 Espesor de revestimiento

El espesor del revestimiento debe seleccionarse según el diámetro del pozo profundo, de acuerdo con la tabla B. 5.3.

**Tabla B. 5.3 Espesores de revestimiento según el diámetro del pozo**

Diámetro del pozo (mm)	Espesor (mm)
150	7.0
200	7.0
250	7.5
300	7.5
350	9.0
400	9.0

## 5.5.2 Sello sanitario

Debe cumplirse lo especificado en la Ley 9 de 1979, o la que la reemplace, que establece que todos los pozos deben sellarse para impedir la infiltración de aguas superficiales y la procedente de formaciones superiores al acuífero que puedan ser de calidad indeseable.

El sello sanitario debe cumplir con lo establecido en la Norma AWWA A-100, Sección 7.

Dependiendo del tipo de pozo, el sello debe cumplir las siguientes especificaciones:

1. En pozos excavados, el sello sanitario debe constar de un recubrimiento en concreto en la parte superior del pozo y una losa de protección sanitaria. El revestimiento del sello sanitario debe sobresalir por lo menos 0.3 m por encima de la losa sanitaria. Además, las paredes deben ser impermeables hasta una profundidad mínima de 3 m.
2. En pozo profundos, el sello debe ser fabricado de mortero de cemento hasta una profundidad mínima de 5 m por debajo de la superficie del terreno. Además, debe preverse una losa sanitaria sobre el nivel del terreno alrededor del pozo, con un área mínima de 1 m<sup>2</sup> con pendiente hacia la periferia.

## 5.5.3 Empaque de grava

En un pozo profundo, cuando la zona de captación esté ubicada en una formación de arena fina, es necesaria la colocación de un empaque de grava ubicado entre la rejilla y el suelo. Las especificaciones del empaque de grava deben cumplir con la Norma AWWA A100, Sección 6.

Si el tamaño correspondiente al 40% del material retenido en la formación acuífera es superior a 25 mm, no será necesario el empaque de grava.

### 5.5.3.1 Espesor y localización del empaque de grava

El espesor del empaque debe estar entre 75 mm y 300 mm. El empaque debe localizarse en el espacio anular adyacente a la rejilla y debe extenderse una longitud mínima de 6 m por encima de ella, a excepción de acuíferos muy superficiales (someros).

### 5.5.3.2 Granulometría del empaque de grava

El tamaño del empaque de grava debe definirse dependiendo del diámetro de la rejilla y de la granulometría natural del acuífero teniendo en cuenta las siguientes disposiciones:

1. La rejilla debe retener el material del empaque y éste a su vez, debe retener el material de la formación.
2. Cuando el acuífero tenga una granulometría uniforme, el tamaño correspondiente al 50% de material que pasa en la curva granulométrica, D50, del empaque debe ser cuatro veces el tamaño D50 del material de la formación acuífera.
3. Si la granulometría del acuífero es no uniforme, el tamaño D50 del empaque debe ser seis veces el tamaño D50 de la formación acuífera.
4. El coeficiente de uniformidad del empaque debe estar entre 1.7 y 2.5. La granulometría debe establecerse según la norma NTC 1522/ (ASTM C136).

### 5.5.3.3 Calidad del material

1. El material del empaque debe ser estable, tanto física como químicamente al agua. Se recomienda que el 60% del material sea redondeado y equiaxial.
2. La densidad relativa del material debe ser mayor que 2.5.
3. El material no debe contener hierro o manganeso en ninguna forma y no debe afectar la calidad del agua del pozo.

### 5.5.4 Cámara de bombeo

La cámara de bombeo debe seguir lo establecido en el capítulo B.8 de este Título, sobre estaciones de bombeo.

## 5.6 Pozos piezométricos

En todo acuífero libre que se explote con pozos profundos, debe colocarse una serie de pozos piezométricos o inspección con el fin de medir los niveles de agua y los abatimientos del acuífero durante el bombeo. La construcción de pozos piezométricos debe cumplir con la Norma Técnica NTC 3948.

### 5.6.1 Separación y número de pozos

En los niveles de complejidad del sistema bajo y medio debe conocerse el nivel dinámico del acuífero, ya sea mediante 2 pozos piezométricos, o mediante la inspección en el mismo pozo utilizando un tubo (línea de aire) localizado entre el entubado y la tubería de succión de la bomba.

En los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, el número de pozos piezométricos se establecerá de acuerdo con un análisis hidrogeológico

que asegure total conocimiento de los niveles dinámicos del acuífero en puntos preestablecidos durante su explotación.

## 5.6.2 Diámetro

El diámetro mínimo de los pozos piezométricos debe ser de 50 mm.

# 5.7 Recarga de acuíferos

En todo proyecto de explotación de agua subterránea debe establecerse la capacidad de recarga del acuífero, ya sea por vía natural o a través de medios artificiales, como embalses de infiltración o pozos de infiltración.

En todo caso, deben protegerse las zonas de recarga y la fuente del agua de todo elemento causante de contaminación y de ser posible asegurar continuidad en la recarga durante todo el año.

## 5.7.1 Recarga natural

En el caso de recarga natural, debe establecerse la cantidad de agua que entra al acuífero por infiltración, ya sea producto de precipitación o escorrentía. Debe asegurarse por medio de un balance hídrico, que la cantidad de agua de la recarga en época de estiaje sea por lo menos igual al caudal medio diario ( $Q_{md}$ ), proyectado al final del período de diseño.

## 5.7.2 Recarga artificial

En caso que la recarga natural no exista, o sea insuficiente, debe considerarse la posibilidad de utilizar la recarga artificial, asegurando un caudal de recarga no inferior al caudal medio diario ( $Q_{md}$ ), proyectado al final del período de diseño.

# 5.8 Aspectos de la puesta en marcha

## 5.8.1 Verificación de rendimientos

Debe realizarse una prueba de bombeo, ya sea escalonada o a nivel constante, con el caudal máximo esperado en la vida útil, con el fin de verificar la capacidad del pozo y los abatimientos máximos probables.

La capacidad estimada del pozo no puede ser superior al 70% de la máxima capacidad observada en la prueba inicial de bombeo.

### 5.8.1.1 Duración de la prueba

La duración de la prueba debe ser suficiente para poder establecer con exactitud el caudal de explotación que provoca un abatimiento estable. Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio se recomienda hacer una prueba de bombeo por lo menos una vez cada año. Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto debe realizarse una prueba de bombeo por lo menos una vez cada año.

La duración mínima de dichas pruebas de bombeo debe ser de 24 horas.

### 5.8.1.2 Parámetros a registrar

Durante la prueba inicial de bombeo deben registrarse por lo menos los siguientes parámetros:

1. El nivel estático inicial del agua en cada uno de los pozos.
2. El caudal de bombeo cada hora.
3. El nivel dinámico del agua en cada pozo al menos una vez cada hora.
4. La calidad del agua en los pozos, tomando una muestra al inicio y otra al final de la prueba.
5. Capacidad de recuperación del acuífero.

El consultor debe presentar, como parte del diseño de la batería de pozos de bombeo, una gráfica que relacione el caudal extraído con el abatimiento de cada uno de los pozos.

Si la capacidad del acuífero es incierta, se deben registrar los niveles de agua de los pozos de observación con una exactitud de 0.1 m.

### 5.8.1.3 Prueba escalonada

En los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto debe realizarse una prueba de bombeo escalonada que permita definir la curva de capacidad específica, que determine la relación entre el caudal extraído y la depresión en el nivel de bombeo.

La prueba debe tener un mínimo de tres escalones, aumentando en cada uno el caudal en la misma cantidad.

La duración de cada escalón debe ser igual y estar por ejemplo, entre 40 y 60 minutos. Al final de la prueba deben medirse los niveles de recuperación hasta llegar a un 90% del nivel estático inicial.

### 5.8.1.4 Prueba a caudal de diseño

Debe realizarse una prueba de bombeo por lo menos con el 90% del caudal máximo previsto durante el período de diseño, con la duración establecida

en el literal B.5.8.1.1 de este Título. Al final de la prueba, la persona prestadora del servicio debe medir el abatimiento máximo en el pozo de explotación y en los pozos de inspección, verificando los resultados de caudal obtenidos con los adoptados en el diseño.

#### 5.8.1.5 Curvas de producción del pozo

El consultor debe suministrar las curvas de producción del pozo teniendo en cuenta las pérdidas de altura hidráulica dentro del mismo pozo para varios caudales de operación, incluyendo el caudal de diseño.

### 5.8.2 Desinfección

Todo pozo debe desinfectarse antes de colocarlo en funcionamiento como captación de agua subterránea para sistemas de acueducto. La desinfección debe realizarse con compuestos clorados, con una concentración de 50 ppm de cloro en el agua y una duración mínima de 24 horas de contacto.

Los procesos de desinfección deben cumplir con las Normas Técnicas AWWA A-100, Sección 11 y AWWA C654-87. Después de la desinfección, el agua debe estar libre de cloro residual.

Antes de dar al servicio el pozo, deben tomarse muestras de agua, para asegurar que no se tenga efectos de la perforación y/o excavación sobre la calidad del agua.

### 5.8.3 Verificación de equipos de bombeo

Para la puesta en marcha de los equipos de bombeo deben seguirse los lineamientos establecidos en el literal B.8.7.2 de este Título.

### 5.8.4 Desarrollo

Antes de dar al servicio un pozo, debe extraerse suficiente agua con el fin de remover las partículas que hayan quedado durante la perforación y eliminar residuos de arena y roca. El bombeo inicial puede realizarse por el método de pistón o de aire comprimido, lavado a contracorriente, bombeo intermitente, chorros de agua horizontales a alta velocidad, acidificación o desincrustación.

Pueden utilizarse también métodos de limpieza hidráulica combinado con químicos, tales como el lavado a contracorriente con inyección alterna de soluciones dispersantes de arcillas o la inyección alterna de aire con polifosfatos y aire comprimido.

El lavado debe realizarse hasta que el agua quede limpia, con una concentración menor que 5 mg/L de sólidos en suspensión.

## 5.9 Aspectos de la operación

### 5.9.1 Calidad del agua cruda

Durante la operación del pozo debe realizarse un muestreo de la calidad del agua según las siguientes disposiciones:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo debe realizarse un muestreo como mínimo cada mes, el cual debe incluir: Coliformes totales y fecales y Demanda Bioquímica de Oxígeno.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio debe realizarse un muestreo como mínimo cada semana, el cual debe incluir: Coliformes totales y fecales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, sólidos suspendidos totales, pH, alcalinidad y dureza.
3. Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto debe realizarse un muestreo diario, el cual debe incluir, además de lo exigido en los otros niveles, fluoruros, cloruros, hierro, alcalinidad total y dureza.

Los muestreos para determinar la calidad del agua deben ajustarse a las Normas Técnicas NTC ISO 5667-3, NTC ISO 5667-11, GTC 30 y AWWA A-100, Sección 12.

Todos los registros de los resultados de las muestras deben guardarse y tenerse a disposición de la SSPD.

En caso que la calidad del agua sea inferior a la mínima establecida en las normas ambientales correspondientes, la entidad encargada de la operación debe tomar las medidas de control de contaminación necesarias y adelantar un programa de recuperación del acuífero.

### 5.9.2 Rendimientos y niveles del acuífero

Durante la operación deben verificarse los niveles freáticos en cada pozo piezométrico, así como el nivel dinámico en el pozo de explotación, según las siguientes disposiciones:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, deben medirse los niveles una vez cada año, guardando los resultados correspondientes y colocándolos a disposición de la SSPD en caso de ser requeridos.
2. Para los demás niveles de complejidad del sistema, los niveles dinámico y estático deben determinarse una vez cada mes, guardando los resultados correspondientes y colocándolos a disposición de la SSPD en caso de ser requeridos.

En caso de encontrar el nivel freático o el nivel dinámico del pozo por debajo del nivel esperado en el diseño, la entidad encargada de la operación debe realizar un estudio a fin de determinar la factibilidad de operación con los niveles de agua encontrados, desde el punto de vista técnico y económico.

Los registros medidos deben ser utilizados para establecer los tiempos de mantenimiento de pozos y bomba, costos de producción de agua y hacer un análisis sobre el mejoramiento de la eficiencia económica medida como \$Col. por metro cúbico producido.

### 5.9.3 Tiempo de operación

En los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, el período de funcionamiento diario de operación del pozo debe ser menor que 20 horas.

### 5.9.4 Medición de caudales

Debe medirse el caudal extraído de cada pozo según las siguientes disposiciones

1. Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, se recomienda medir el caudal de producción de cada pozo una vez a la semana.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto, debe medirse cada día, guardando los registros correspondientes.
3. Para el nivel de complejidad del sistema alto, debe medirse cada día, utilizando caudalímetros, guardando los registros correspondientes.

Todos los registros deben guardarse y colocarse a disposición de la SSPD en caso de solicitud.

## 5.10 Aspectos de mantenimiento

### 5.10.1 Equipos de bombeo

Para el mantenimiento de equipos de bombeo deben seguirse los lineamientos establecidos en el literal B.8.9.3.2 de este Título.

### 5.10.2 Prevención contra la incrustación

Debe efectuarse un mantenimiento preventivo contra el fenómeno de incrustación en las rejillas y en el revestimiento del pozo. Este mantenimiento

debe realizarse entre un período de ocho meses y un año, bien sea por remoción mecánica a través de perforadora o por tratamiento químico con ácidos, polifosfatos o compuestos clorados, según el tipo de incrustación.

### 5.10.2.1 Remoción mecánica

Este método consiste en retirar, limpiar y volver a colocar parte de la tubería afectada con la incrustación. En caso de adoptar este método, debe tenerse en cuenta que si la incrustación es pesada y dura, la fuerza necesaria para remover la camisa puede ocasionar daños en la tubería del pozo o la tubería que la eleva.

### 5.10.2.2 Tratamiento químico

Cuando se utiliza el tratamiento a base de químicos, deben cumplirse las siguientes disposiciones:

1. Antes de iniciar el tratamiento, es necesario tomar unas muestras de las incrustaciones de la rejilla o tubería afectada, con el fin de establecer su tipo y el tratamiento a seguir.
2. Para remover carbonato de calcio y carbonato de magnesio se puede utilizar ácido clorhídrico. Podrán utilizarse polifosfatos para remover óxidos de hierro y manganeso. El operario debe obtener la concentración de los químicos a utilizar con base en las características del material adherido, siempre asegurando la integridad del revestimiento.
3. Para el tratamiento contra películas microbiológica se recomienda el uso de compuesto clorado en una concentración entre 100 y 150 mg/L, efectuando tres o cuatro limpiezas.
4. Puede utilizarse algún otro agente químico, siempre y cuando sus resultados efectivos en el tratamiento contra la incrustación ya hayan sido evaluados y verificados previamente.
5. El revestimiento del pozo debe ser de un material que resista el ataque de ácidos, en caso que éstos se utilicen. Los ácidos no deben deteriorar el material del revestimiento.
6. Los pozos que extraigan agua dentro del mismo radio de influencia del pozo en mantenimiento, deben ser sacados de servicio durante el tratamiento con ácidos.
7. La bomba debe ser removida del pozo antes de iniciar el tratamiento.
8. El operario debe tomar las medidas de protección necesarias relacionadas con el manejo y la seguridad del químico a utilizar

para evitar accidentes en personas o que se deteriore la calidad del agua.

Se permitirá la adopción de otro método contra la incrustación, siempre y cuando se justifique su efectividad y se tomen las medidas de protección necesarias.

# TÍTULO B

## ADUCCIONES Y CONDUCCIONES

# **6. ADUCCIONES Y CONDUCCIONES**

Las líneas de aducción de acueducto son los conductos destinados a transportar por gravedad o por bombeo las aguas crudas desde los sitios de captación hasta las plantas de tratamiento, prestando excepcionalmente servicio de suministro de agua cruda a lo largo de su longitud.

Las líneas de conducción son aquellas destinadas al transporte de agua tratada desde la planta de tratamiento hasta los tanques de almacenamiento o hasta la red de distribución, generalmente sin entrega de agua en ruta.

## **6.1 Alcance**

En este capítulo se establecen los criterios básicos y requisitos mínimos que deben cumplir las aducciones, conducciones y líneas de impulsión en los diferentes procesos involucrados en su desarrollo, tales como la conceptualización, el diseño, la construcción, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento, con el fin de garantizar seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad del sistema determinado.

Las prescripciones establecidas en el presente capítulo deben aplicarse a los cuatro niveles de complejidad del sistema a menos que se especifique lo contrario.

## **6.2 Estudios previos**

### **6.2.1 Concepción del proyecto**

Durante la concepción del proyecto de aducciones y/o conducciones deben definirse criterios técnicos y económicos que permitan comparar las diferentes alternativas para la aducción y/o conducción a partir de los datos de campo, de los datos geotécnicos, de los datos geológicos y de los datos de consumo de la población objeto del abastecimiento de agua potable.

Dependiendo de la topografía, la distancia y la diferencia de nivel entre la captación y la planta de tratamiento de agua potable, la aducción puede realizarse a través de una tubería a presión, una tubería que trabaje parcialmente llena o de un canal abierto. En caso que se opte por una aducción a presión, y que ésta opere por bombeo, deben tenerse como mínimo dos equipos de bombeo en servicio continuo y uno en condición de reserva. En caso que el proyecto incluya una aducción en canal abierto o una tubería que trabaje parcialmente llena, ésta

debe localizarse, en lo posible, siguiendo las curvas de nivel del terreno, de tal manera que se obtenga una pendiente apropiada que permita una velocidad mínima del agua que no produzca depósitos de sedimento y una velocidad máxima que no produzca erosión ni transporte de sedimentos erosionados hacia aguas abajo.

Para efectos de utilización de tuberías en las aducciones en los sistemas de acueducto, que trabajen parcialmente llenas, solo se deberá trabajar con tuberías a presión utilizada para presiones mínimas, con el fin de preservar la calidad del agua captada y evitar la contaminación en su recorrido.

Dependiendo de la topografía, la distancia y la diferencia de nivel entre los tanques de contacto o de almacenamiento al final de la planta y los tanques de almacenamiento y/o compensación en la red de distribución, la conducción debe diseñarse siempre como una tubería a presión cumpliendo con todos los requisitos de resistencia para las presiones máximas que se manejarán durante toda la vida útil del proyecto.

Para el nivel de complejidad del sistema alto, las conducciones nuevas deben diseñarse, además, con todas las estructuras y facilidades necesarias para garantizar un lavado de la tubería durante su operación normal y a lo largo de toda la vida útil del proyecto. Estas estructuras deben incluir entre otros aspectos, las válvulas necesarias, las estructuras de disipación de energía y las estructuras de entrega a los cuerpos receptores de las aguas de lavado que formen parte del sistema de drenaje natural del municipio. La operación de lavado de las conducciones debe diseñarse teniendo en cuenta un modelo hidráulico de redes de tuberías con base en el método del gradiente. Esta disposición se recomienda para el nivel de complejidad del sistema medio alto.

## 6.2.2 Análisis de costo mínimo

Para el diseño de la conducción debe considerarse en todos los casos un análisis de costo mínimo que siga los lineamientos establecidos en el capítulo A.8 “Evaluación socioeconómica” del Título A del RAS: “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico”. Para el nivel de complejidad del sistema bajo este análisis de costo mínimo no será obligatorio; sin embargo, en el caso de aducciones a presión, se recomienda hacer el análisis de costo mínimo, para dicho nivel de complejidad del sistema.

## 6.2.3 Infraestructura existente

Durante el proceso de diseño de las estructuras de aducción y/o conducción deben identificarse las principales obras de infraestructura construidas y proyectadas dentro de la zona de influencia de dichas estructuras, tales como calles, avenidas, puentes, vías de ferrocarril y/o de transporte urbano masivo, líneas de transmisión de energía eléctrica, sistemas de alcantarillado,

sistemas de drenaje urbano, y cualquier otra obra de infraestructura importante en el municipio. El análisis de la infraestructura existente debe incluir un estudio sobre el sistema de conducciones, en el cual se establezca tanto el catastro de tuberías y accesorios, como el estado estructural de las tuberías y la operación hidráulica del sistema existente y su interacción con el sistema proyectado.

## 6.2.4 Estudio de la demanda

El consultor debe conocer el estudio de la demanda de agua para el municipio que va a abastecerse, o en su defecto debe realizar este estudio siguiendo lo establecido en el capítulo B.2 de este Título.

## 6.2.5 Aspectos generales de la zona de la aducción o conducción

El consultor debe conocer todos los aspectos generales de la zona por donde cruzará la aducción o conducción, tales como los regímenes de propiedad, los usos generales de la zona y, en lo posible, los desarrollos futuros proyectados.

En particular se deben conocer las obras de la infraestructura existente en la zona de aducción o conducción, tales como aeropuertos, embalses, carreteras, ferrocarriles, etc. También deben quedar plenamente establecidos cuáles son los terrenos de propiedad de la nación, del departamento o del municipio y qué predios o servidumbres deben adquirirse.

Se deben conocer detalladamente los cursos de agua, con sus obras de canalización, tanto las obras existentes como las proyectadas, así como la forma de operación del sistema de drenaje urbano de la zona del municipio objeto del diseño.

Con el fin de establecer concretamente los aspectos generales de la zona objeto del diseño de la aducción y/o conducción o sus ampliaciones/extensiones, debe realizarse el levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico de la zona del municipio objeto del diseño y de sus áreas de expansión.

## 6.2.6 Estudios topográficos

Los levantamientos topográficos deben realizarse de tal forma que se incluya una franja con secciones transversales de 15 m a partir del eje del diseño de la aducción o conducción; deben evitarse aquellos terrenos que sean difíciles o inaccesibles. Los levantamientos deben ser altimétricos, planimétricos, con secciones transversales y detalles precisos que permitan mostrar los elementos de interés, los límites de propiedades, los beneficiarios existentes y los niveles de aguas máximos observados en cuerpos superficiales de agua. Igualmente, estos planos deben indicar en forma detallada las obras de infraestructuras existentes en la zona de trazado.

Además, debe recopilarse la siguiente información topográfica:

1. Planos aerofotogramétricos de la región donde se va a estudiar el trazado de la aducción o conducción.
2. Planos de catastro de las instalaciones de sistemas de infraestructura, como servicios de energía, teléfonos, alcantarillados de aguas lluvias, alcantarillados de aguas residuales, acueductos y otras obras y estructuras eventualmente existentes, como carreteras, aeropuertos, ferrocarriles, etc.
3. En el prediseño de las conducciones y/o las aducciones deben utilizarse los planos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), en la mejor escala disponible.
4. Deben recopilarse las fotografías aéreas e imágenes satelitales existentes en la zona del trazado de la aducción o conducción.

## 6.2.7 Condiciones geológicas

Deben conocerse todas las condiciones geológicas y las características del subsuelo en las zonas de trazado de la aducción o conducción. Utilizando planos geológicos, deben identificarse las zonas de fallas, de deslizamiento, de inundación y en general todas las zonas que presenten algún problema causado por fallas geológicas. No se aceptarán alternativas de trazado que crucen zonas claramente identificadas como zonas de deslizamiento.

El consultor debe identificar específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona por donde cruzará la aducción o conducción. En particular debe tenerse en cuenta lo establecido por las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente con respecto a los niveles de amenaza sísmica de las diferentes zonas del territorio nacional.

## 6.2.8 Calidad de agua

Antes de proceder con el desarrollo de un proyecto de diseño, construcción o ampliación de una aducción o una conducción nueva o existente, el consultor debe conocer las características de la calidad de agua y su evolución a partir de las plantas de tratamiento y hasta su llegada a los tanques de almacenamiento y/o compensación que formen parte de la red de distribución. El consultor debe hacer uso de la información existente en el municipio, en particular en la persona prestadora del servicio de acueducto, y en caso que se considere necesario o no exista información sobre la calidad de agua, para el nivel de complejidad del sistema alto se debe hacer uso de un programa de computador que simule la calidad de agua y su evolución en la red de distribución de agua potable.

## 6.2.9 Factibilidad de ampliación/extensión

Debe tenerse en cuenta un estudio sobre la factibilidad de la ampliación de la aducción o conducción considerando lo establecido en el análisis de costo mínimo según lo establecido en el capítulo A.8 “Evaluación socioeconómica” del Título A del RAS. En general, el trazado de la aducción debe ser suficientemente amplio para permitir las posibles ampliaciones/extensiones futuras.

## 6.2.10 Cuerpos receptores de aguas de lavado de la red

Para el Nivel de Complejidad del Sistema Alto y como recomendación para el Nivel de Complejidad del Sistema Medio Alto, se debe contemplar la necesidad del lavado de las tuberías con el fin de controlar las biopelículas y los depósitos inorgánicos de diferentes orígenes que se puedan depositar al interior de las tuberías. Igualmente, la persona prestadora debe conocer los cuerpos de drenaje urbano, tanto naturales como artificiales de la zona del municipio que va a ser cruzada por la aducción y/o conducción con el fin de establecer su capacidad hidráulica y su factibilidad para ser utilizado como cuerpos receptores de las aguas de lavado.

## 6.2.11 Estudio de suelos

Para el diseño de las aducciones y/o conducciones se debe seguir todo lo establecido en el capítulo G.2 “Aspectos geotécnicos” del Título G del RAS: “Aspectos complementarios”. En todo caso el diseño debe considerar la participación de un especialista en Geotecnia, que indique aquellos estudios adicionales a los mínimos establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS.

Para los niveles de complejidad del sistema bajo, medio y medio alto, se deben utilizar los valores de resistividad del suelo que se encuentran en la tabla B. 6.1 para propósitos de diseño y evaluación del riesgo de corrosión.

Tabla B. 6.1 Corrosividad del suelo basada en la resistividad

Resistividad del suelo ( $\Omega\text{-cm}$ )	Índice de corrosividad
> 20000	Esencialmente no corrosivo
10000 a 20000	Ligeramente corrosivo
5000 a 10000	Moderadamente corrosivo
3000 a 5000	Corrosivo
1000 a 3000	Altamente corrosivo
< 1000	Extremadamente corrosivo

Para el nivel de complejidad del sistema alto, y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio alto, el estudio geotécnico debe considerar los siguientes aspectos adicionales.

1. Estudios para determinar las propiedades corrosivas de los suelos alrededor del trazado de la línea de conducción.

Algunas características tienen un efecto sobre la velocidad de corrosión en el suelo; estas incluyen el contenido de agua, el grado de aireación, el pH, el potencial redox, la resistividad, las especies iónicas solubles (sales) y la actividad microbial. Este tipo de información resulta de interés para predecir la agresividad de un suelo frente a, por ejemplo, una tubería enterrada y con base en esto, evaluar la corrosión y la protección correspondiente.

El método que se muestra a continuación (índice de corrosividad total<sup>2</sup>) es aplicable a tuberías de materiales ferrosos (aceros, hierro fundido y aleaciones ricas de acero inoxidable), aceros galvanizados por inmersión en caliente, cobre y aleaciones de cobre. Sin embargo, la corrosividad de lechos marinos y de lagos no puede ser evaluada utilizando esta metodología, para lo cual el diseñador deberá proponer una alterna la cual deberá ser aprobada por la persona prestadora del servicio.

En todo caso se recomienda consultar al proveedor ó el fabricante de las tuberías y accesorios para la correcta determinación de los revestimientos que deben tenerse en cuenta.

El índice de corrosividad total corresponde a la sumatoria, incluyendo el signo, de los 12 índices individuales que se muestran a continuación. De acuerdo con la tabla B. 6.2 se puede clasificar el suelo dependiendo del índice de corrosividad total.

**Tabla B. 6.2 Índice de corrosividad total**

Índice de corrosividad total	Clasificación del suelo
$\geq 0$	No corrosivo
-1 a -4	Ligeramente corrosivo
-5 a -10	Corrosivo
$\leq -10$	Altamente corrosivo

a) **Índice R1: Tipo de suelo**

La estructura del suelo y su granulometría definen propiedades físicas como la permeabilidad. Este factor afecta la circulación de fluidos dentro del suelo y puede tener también un efecto en la adsorción e intercambio de cationes y aniones, especialmente en suelos de baja permeabilidad. Estos intercambios, junto con la capacidad buffer y el potencial de óxido-reducción de este tipo de suelos, tienen un efecto directo en la agresividad del suelo.

<sup>2</sup> Corrosion Engineering. Principles and practice. Roberge, Pierre R. New York, McGraw Hill, 2008. Corrosion in soils and microbiologically influenced corrosion. Pages 385-428.

**Tabla B. 6.3 Índice de corrosividad R1**

Tipo de suelo (textura y estructura)	(%)	Índice R1
Coherencia: fracción elutriable (removible por el fluido)	≤ 10%	+4
	> 10% a 30%	+2
	> 30% a 50%	0
	> 50% a 80%	-2
	> 80%	-4
Suelo con contenido de carbón orgánico	> 5%	-12
Suelo muy contaminado		-12

**b) Índice R2: Resistividad**

El valor de la resistividad eléctrica del suelo sirve como índice de su agresividad; por ejemplo un terreno muy agresivo, caracterizado por presencia de iones tales como cloruros, tendrá resistividades bajas por la alta facilidad de transportación iónica. La resistividad del suelo puede ser medida por el método de Wenner o de los cuatro electrodos a la profundidad a la cual va a estar enterrada la tubería. El método de los cuatro electrodos debe emplearse con un espaciado entre varillas de aproximadamente una vez y media (1.5) la profundidad de la tubería.

La resistividad de un terreno depende, en particular, de su estructura, de las dimensiones de sus partículas constituyentes, de su porosidad y permeabilidad, del contenido de agua (humedad) y de su contenido de iones.

**Tabla B. 6.4 Índice de corrosividad R2**

Resistividad ( $\Omega\text{-cm}$ )	Índice R2
>50000	+4
50000 a 20000	+2
20000 a 5000	0
5000 a 2000	-2
1000 a 2000	-4
< 1000	-6

**c) Índice R3: Contenido de agua (humedad)**

Se ha determinado que suelos con contenido de humedad mayor al 20% tienen un alto potencial de agresividad en cuanto a la corrosión general de metales. Para contenidos de humedad menores al 20% se identifica corrosión puntual y para suelos sin mayor contenido de agua no se presentan problemas relacionados con este fenómeno.

Tabla B. 6.5 Índice de corrosividad R3

Humedad (%)	Índice R3
≤20%	0
>20%	-1

## d) Índice R4: pH

Los suelos muy ácidos ( $\text{pH} < 5.5$ ) pueden motivar una rápida corrosión del metal desnudo, y la agresividad del suelo aumenta con el incremento de la acidez (disminución del pH), pero estos valores de pH no son normales. La mayor parte de los suelos tienen pH comprendidos entre 5.5 y 9.0, en cuyo caso la corrosión depende de otros factores. En suelos alcalinos parece existir una cierta correlación entre conductividad y agresividad.

Tabla B. 6.6 Índice de corrosividad R4

pH	Índice R4
>9.0	+2
5.5 a 9.0	0
4.0 a 5.5	-1
<4.0	-3

e) Índice R5: Capacidad *buffer*

Tabla B. 6.7 Índice de corrosividad R5

Capacidad Buffer	(mmol/kg)	Índice R5
Capacidad ácida para pH 4.3: (Alcalinidad $K_a = 4.3$ )	> 1000	+3
	200 a 1000	+1
	< 200	0
	< 2.5	0
	2.5 a 5	-2
	5.0 a 10.0	-4
	10.0 a 20.0	-6
Capacidad básica para pH 7: (Acidez $K_b = 7.0$ )	20.0 a 30.0	-8
	> 30.0	-10

## f) Índice R6: Contenido de sulfuros

Tabla B. 6.8 Índice de corrosividad R6

Contenido de sulfuro (mg/kg)	Índice R6
< 5	0
5 a 10	-3
> 10	-6

**g) Índice R7: Contenido de sales**

Tabla B. 6.9 Índice de corrosividad R7

Contenido de sales neutrales(mmol/kg)	Índice R7
< 3	0
3 a 10	-1
> 10 a 30	-2
> 30 a 100	-3
> 100	-4

**h) Índice R8: Contenido de sulfatos**

Tabla B. 6.10 Índice de corrosividad R8

Contenido de sulfatos (mmol/kg)	Índice R8
< 2	0
2 a 5	-1
> 5 a 10	-2
> 10	-3

**i) Índice R9: Agua subterránea**

Tabla B. 6.11 Índice de corrosividad R9

Agua subterránea	Índice R9
No hay presencia	0
Si hay presencia	-1

**j) Índice R10: Homogeneidad horizontal**

Se define como la variación del índice R2 entre puntos adyacentes.

Tabla B. 6.12 Índice de corrosividad R10

Diferencia índice R2	Índice R10
< 2	0
2 a 3	-2
>	-4

**k) Índice R11: Homogeneidad vertical**

Tabla B. 6.13 Índice de corrosividad R11

Homogeneidad vertical		Índice R11
Suelos adyacentes con la misma resistividad	Alojado en suelos con la misma estructura o en arena.	0
	Alojado en el suelo con diferente estructura o que contiene materia externa.	-6
Suelos adyacentes con diferente resistividad	2 ≤ Diferencia del índice R2 ≤ 2.5	-1
	Diferencia del índice R2 > 3	-6

I) Índice R12: Potencial Redox

El potencial de óxido-reducción es importante para evaluar el riesgo de corrosión anaerobia, principalmente cuando en el suelo hay presencia de sulfatos.

Tabla B. 6.14 Índice de corrosividad R12

Potencial Redox (mV vs. Cu/CuSO <sub>4</sub> )	Índice R12
-500 a 400	-3
-400 a -300	-8
> -300	-10

Cuando no es posible realizar mediciones, el valor de R12 debe ser -10 si en el suelo hay presencia de carbón o coque.

2. Estudios de compresión lateral para el caso de los anclajes y los empalmes que formen parte de la tubería de conducción.
3. Para una tubería de material y tipo de unión determinados, para ser utilizados en la conducción, se debe establecer la máxima deformación en las juntas, causada por movimiento de suelo, que puede resistir la tubería.
4. Se debe cumplir lo establecido en la Resolución 1096 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico, en su Artículo 192, “Consideraciones sísmicas de los diseños geotécnicos” o la norma que la sustituya, reemplace o modifique. Cuando existan estudios particulares de zonificación sísmica deben emplearse los espectros de diseño recomendados según los mapas de microzonificación respectivos, además de los requerimientos especiales de diseño sísmico que se establecen para cada zona en particular. De lo contrario, se deben adoptar las consideraciones sísmicas estipuladas en el literal H.4.3.2.1 de las Normas Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente, o los decretos que lo reemplacen o complementen, específicamente en lo relacionado con las excavaciones temporales que se presentan durante la instalación de tuberías.
5. El consultor debe recopilar toda la información sobre sondeos eventualmente existentes en las personas prestadoras de servicios públicos del municipio o municipios objeto del diseño, que hayan sido realizados para el desarrollo o construcción de otras obras en el perímetro urbano de dichos municipios o grupo de municipios.

## 6.2.12 Servicios de agua cruda

En casos excepcionales, la línea de aducción puede prestar servicios de agua cruda. En estos casos será necesario considerar el aumento respectivo

de caudal en las obras de captación y los desarenadores. En todos los casos, la persona prestadora del servicio debe obtener la autorización de la SSPD para poder suministrar agua cruda desde la aducción. En ningún caso el agua cruda tomada de la aducción puede ser utilizada para el consumo humano si no es tratada previamente en una planta de tratamiento localizada aguas abajo del servicio de agua cruda.

## 6.2.13 Interferencia con otras redes de servicios públicos

Cuando el trazado de la línea de conducción objeto del diseño, construcción o ampliación, cruce o esté cerca de redes eléctricas, líneas de alta energía de transmisión, el consultor debe establecer la magnitud de las corrientes parásitas con el fin de seleccionar el material apropiado para la tubería de la conducción o su protección necesaria contra los problemas de corrosión inducidos por corrientes eléctricas. En todo caso se debe seguir todo lo establecido en los literales B.6.4.4.4 y B.6.5.7 referentes a los materiales y las protecciones adecuadas para las tuberías, en aquellos casos en donde se presenten interferencias con corrientes eléctricas y/o el trazado de la conducción cruce redes de gas o redes de alcantarillado.

# 6.3 Condiciones generales

Para el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de las aducciones o conducciones deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones generales:

## 6.3.1 Tipos de aducciones y conducciones

Pueden utilizarse los siguientes dos tipos de aducciones: aducción a superficie libre (canales o tuberías a gravedad) o aducción a presión (ya sea por bombeo o por gravedad).

Deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. En lo posible, no deben utilizarse canales abiertos en la aducción debido a las dificultades que presenta su mantenimiento y fundamentalmente por las condiciones de riesgo de contaminación a las que se hallaría sometida la aducción, con la consiguiente pérdida de calidad sanitaria.
2. Los canales que crucen zonas pobladas o zonas susceptibles de contaminación deben estar provistos de una cubierta de protección.
3. Se admitirá que en un sistema de aducción puedan existir tramos sucesivos a superficie libre, en conducto a presión por gravedad o por bombeo, en cualquier secuencia y dimensiones siempre que se cumplan las condiciones hidráulicas particulares para cada uno de esos tipos de regímenes.

4. En los puntos de transición de tramos definidos por distintos tipos de funcionamiento no deben presentarse pérdidas continuas de agua como resultado de la diferencia de capacidad de los diversos tramos. El tramo con menor capacidad debe tener la capacidad de diseño de la aducción.
5. No pueden presentarse deficiencias en el comportamiento hidráulico de la aducción como consecuencia de la subdivisión de la aducción en tramos de diferentes tipos de regímenes hidráulicos.

Las conducciones deben ser cerradas y a presión, estas podrán ser por gravedad o por bombeo, conformando, en este último caso, una línea de impulsión hasta los tanques de almacenamiento y/o compensación.

## 6.3.2 Recomendaciones de trazado

### 6.3.2.1 Recomendaciones generales

Hasta donde sea posible el diseño de la aducción o conducción debe tener como objetivo la instalación en terrenos de propiedad pública, evitando interferencias con complejos industriales, vías de tráfico intenso, redes eléctricas, tuberías principales de redes de gas, colectores del sistema de alcantarillado, instalaciones aeroportuarias, etc. En particular, deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. El trazado se debe realizar, en lo posible, paralelo a las vías públicas. En caso contrario, o si se considera inconveniente desde el punto de vista económico o que implique el uso de predios privados, será necesario establecer la correspondiente servidumbre.
2. En caso que se considere necesario, deben estudiarse alternativas que no sigan las vías públicas, para que el trazado no cruce hondonadas o puntos de altura pronunciada, o porque se deban rodear quebradas y cauces profundos o para evitar cruces directos con obras de infraestructura importantes.
3. Con el fin de acortar la longitud de la aducción y/o la conducción, o comparar con trazados posibles en túnel, deben estudiarse alternativas al trazado. Esto también debe realizarse en caso que sea necesario cruzar terrenos que tengan niveles freáticos muy altos.
4. El trazado de la línea de conducción debe permitir un acceso directo permanente a ésta, para los vehículos encargados de las labores de mantenimiento. Además debe asegurar que los pasos no se encuentren restringidos o cerrados para las labores de mantenimiento.
5. En caso que el trazado de la conducción quede localizado por debajo de una vía de tráfico intenso, el acceso a las estructuras

- especiales o accesorios de la conducción debe realizarse desde uno de los lados de la vía.
6. Los cruces de la aducción y la conducción con canalizaciones, quebradas, estructuras, vías férreas, vías del sistema de transporte urbano masivo y otras redes se deben diseñar para cada caso particular con las protecciones requeridas y presentarse al equipo encargado del diseño.
  7. En el caso de redes nuevas en vías con una sola red, la tubería de la conducción se debe localizar por el costado opuesto al alcantarillado de aguas residuales.

### 6.3.2.2 Recomendaciones específicas

Para la selección del trazado definitivo de la aducción y/o conducción debe considerarse, además del análisis económico y la vida útil del proyecto los siguientes factores:

1. El trazado de la línea de aducción debe ser lo más directo posible entre la fuente de abastecimiento y la planta de tratamiento.
2. El trazado de la línea de conducción debe ser lo más directo posible entre las plantas de tratamiento y los tanques de almacenamiento y/o compensación.
3. La línea piezométrica deberá estar situada por lo menos a cinco metros de altura con relación a los puntos altos de la línea de aducción o conducción.
4. El trazado definitivo debe garantizar que la línea piezométrica en todo punto de la conducción o aducción sea positiva y que en ninguna zona cruce con la tubería con el fin de evitar presiones manométricas negativas que representen un riesgo de colapso de la tubería por aplastamiento o zonas con posibilidades altas de cavitación.
5. Deben evitarse los trazados que impliquen presiones excesivas que puedan llegar a afectar la seguridad de la conducción o aducción. En caso contrario, el diseño debe prever que el tipo de tubería utilizado pueda soportar dichas presiones con los factores de seguridad correspondientes.
6. El trazado debe evitar tramos con pendientes y contra pendientes que puedan causar bloqueos por aire en la línea de conducción. Si esto no es posible debe incluir el diseño de las ventosas correspondientes.
7. El trazado definitivo debe evitar, hasta donde sea posible, zonas con alto riesgo de inundación o de deslizamiento.
8. En caso que el nivel freático quede por encima de la línea de conducción, el diseño debe contemplar todas las protecciones necesarias para que el material de la tubería no se vea afectado por éste.

9. En el caso de redes nuevas, la tubería de la conducción se debe localizar, en lo posible, en los costados norte y oriente, de las calles y carreras, respectivamente.
10. Siempre que existan instalaciones enterradas o accesorios enterrados en la aducción o conducción, será necesario emplear señalizaciones y referenciarlos en planos, esquemas o tarjetas con coordenadas.

### 6.3.3 Facilidad de acceso a cajas de válvulas y accesorios

En todos los casos, los conductos deben tener facilidad de acceso de equipos de mantenimiento a lo largo de su trazado. En los casos en que no existan caminos o carreteras paralelos a las zonas del trazado, deben construirse vías de acceso, tomando la precaución que su trazado se encuentre habilitado para el paso de vehículos durante todo el período de operación de la aducción.

### 6.3.4 Protección contra la contaminación

Para el caso del diseño de los conductos de aducción, el consultor debe tener especial cuidado con la posible contaminación de las aguas crudas. En general, los conductos a presión son menos vulnerables a la contaminación entre las obras de captación y las plantas de tratamiento; por esta razón, dependiendo del análisis económico, el diseño debe preferir su uso. En el caso de que económicamente se demuestre que el uso de un canal abierto es la alternativa óptima, el diseño debe establecer las posibles fuentes de contaminación que existan a lo largo de todo el trazado del canal. En particular, cuando el canal cruce zonas pobladas o zonas industriales del municipio o los municipios objeto del diseño, éste debe quedar cubierto.

En el caso en que las conducciones crucen terrenos susceptibles a causar contaminación del agua tratada, la tuberías deben protegerse en su exterior según lo indicado en el literal B.6.5.7 de este Título, con el fin de evitar posibles problemas de infiltración hacia la tubería ya sea por corrosión de ésta o por permeabilidad de sus paredes a ciertos contaminantes existentes en la zona.

### 6.3.5 Vulnerabilidad y confiabilidad de la línea de aducción o conducción

Para el caso en que se tenga el diseño, la construcción o ampliación de una aducción, el diseño debe establecer su nivel de vulnerabilidad. En caso que por razones geológicas, geotécnicas, topográficas o de tipo antrópico se

considere que la aducción es altamente vulnerable, ésta debe ser redundante. Dicha redundancia implica que no se puede utilizar un sistema paralelo por el mismo corredor. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, en el caso que no sea posible contar con una redundancia en la aducción, aguas arriba y cerca a la planta de tratamiento debe existir un embalse o tanque de almacenamiento que permita tener un volumen de agua que garantice el consumo de agua potable de la población en un tiempo igual al requerido para la reparación de la aducción.

Las conducciones son vulnerables a la deformación del suelo causada por problemas geotécnicos, geológicos y/o topográficos. Por consiguiente, para todos los niveles de complejidad del sistema, el diseño debe establecer el nivel de vulnerabilidad de la conducción, con el fin de determinar la necesidad o no de hacer redundante la conducción objeto del diseño, la construcción o ampliación.

En caso que el diseño considere que la conducción es altamente vulnerable, el nivel de abastecimiento de agua debe ser redundante a través de otras tuberías existentes en la red de conducciones, las cuales deben tener la capacidad de mover los caudales requeridos bajo las condiciones de emergencia resultantes de la posible falla; en el caso de los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, este último requerimiento es recomendable. En caso que no sea posible contar con la redundancia en la conducción, el tanque de almacenamiento y/o compensación aguas abajo de ésta debe tener un volumen de agua que garantice el consumo de la población en un tiempo igual al requerido para la reparación de la conducción o máximo seis horas para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto y 12 horas para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio.

Con el fin de establecer la vulnerabilidad de las tuberías de la conducción frente a la deformación del suelo, se debe seguir lo establecido en la tabla B. 6.15.

**Tabla B. 6.15 Materiales de tuberías para la conducción de agua, normas aplicables y su vulnerabilidad frente a la deformación del suelo**

Vulnerabilidad	Tipo de Material	Norma AWWA	Tipo de Unión
Baja	Concreto sin cilindro de acero	C302	
	Hierro dúctil	Series C1xx*	Campana y espigo con empaque de caucho, fija.
	Polietileno	C906	Fundida
	Acero	Series C2xx	Soldada con arco voltaico
	Acero	Sin designación	Remachada
	Acero	Series C2xx	Campana y espigo con empaque de caucho, fija
Baja a media	Concreto sin Cilindro de acero	C300, C302, C303	Campana y espigo, fija
	Hierro dúctil	Series C1xx*	Campana y espigo con empaque de caucho, suelta
	PVC	C900, C905	Campana y espigo, fija

Vulnerabilidad	Tipo de Material	Norma AWWA	Tipo de Unión
	Acero	Series C2xx	Campana y espigo con empaque de caucho, suelta
Media	Concreto con Cilindro de acero	C300, C303	Campana y espigo, suelta
	Hierro fundido diámetro > 200 mm	Sin designación	Campana y espigo con empaque de caucho
	PVC	C900, C905	Campana y espigo, suelta
Media a alta	Hierro fundido diámetro ≤ 200 mm	Sin designación	Campana y espigo con empaque de caucho
	Acero	Sin designación	Soldada con gas
Alta	Hierro fundido	Sin designación	Campana y espigo, galvanizada o de mortero

\* Se refiere a las series de las normas AWWA indicadas por la letra y el primer dígito de su número de tres dígitos. C1xx se refiere a las series C100s (tubería de hierro dúctil y accesorios), C2xx se refiere a las series C200s (tubería de acero).

Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio especialmente, la conducción también es vulnerable a la conexión fraudulenta de suscriptores. En ningún caso se puede permitir estas conexiones a la red de conducciones de un sistema de acueducto. Por consiguiente, desde la etapa de diseño se deben identificar aquellas zonas en las cuales se considere que existe una alta vulnerabilidad a este tipo de conexiones y plantear posibles soluciones entre las cuales se deben considerar la profundización de las tuberías, el uso de materiales especiales, etc.

Adicionalmente, el diseño de las líneas de conducción debe incluir el análisis de su vulnerabilidad frente a los fenómenos de corrosión, según lo establecido para cada material en los catálogos técnicos de las tuberías, de acuerdo con lo señalado en el Reglamento Técnico de Tuberías, Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007 expedidas por el MAVDT, o las normas que las modifiquen, adicionen o sustituyan.

### 6.3.6 Análisis de puntos muertos en las conducciones

Como norma general, en los diseños de conducciones nuevas o de ampliaciones/extensiones en redes de conducciones existentes, no deben existir puntos muertos. En caso que sea inevitable la existencia de dichos puntos, el diseño debe incluir elementos y accesorios de control con el objetivo de hacer un lavado periódico de la conducción en dichas zonas. En este caso, el diseño debe establecer en forma clara las rutinas de operación que garanticen el mantenimiento de la calidad del agua en la red de conducciones.

El diseño debe incluir la determinación del efecto que las zonas muertas tienen sobre la calidad general del agua que llega a los tanques de compensación y/o almacenamiento. Para este análisis el diseño debe hacer uso del programa de cálculo hidráulico de redes de distribución utilizado por la persona prestadora del servicio, el cual debe basarse en el método del gradiente.

En el caso de existencia de puntos muertos, el diseño debe establecer la forma operativa de lavado, especificando claramente la forma de operación de las válvulas que deben existir al final de las zonas muertas con el fin de asegurar que se obtengan las velocidades y esfuerzos cortantes mínimos que permitan el desprendimiento de las posibles películas biológicas y la resuspensión de los posibles depósitos inorgánicos que hayan ocurrido al interior de la tubería en la zona muerta. En el diseño, deben quedar establecidas la frecuencia de lavado y la duración de éste para cada uno de los puntos muertos que existan en la conducción o red de conducciones.

### 6.3.7 Control de crecimiento y desprendimiento de biopelículas

Con el fin de evitar los eventos de deterioro de calidad de agua en el sistema de acueducto, y en aquellos casos en que por la calidad de agua se considere factible y probable el crecimiento de biopelículas o el depósito de materiales inorgánicos al interior de las tuberías que conforman la conducción, se debe contemplar metodologías para el control del crecimiento y el desprendimiento de las películas biológicas o depósitos inorgánicos estableciendo una velocidad mínima de operación en las líneas de conducción. Esta velocidad debe corresponder a las condiciones de operación hidráulica del caudal de diseño en el momento de entrada en operación de la conducción. En caso que no se cuente con la información necesaria, y en particular para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, la velocidad mínima en la conducción debe ser de 1.0 m/s con el fin de prevenir el crecimiento y controlar el desprendimiento de películas biológicas y/o minerales.

### 6.3.8 Lavado para remoción de biopelículas

Para el nivel de complejidad del sistema alto, el diseño debe incluir la realización de un lavado unidireccional de las tuberías el cual se caracteriza por:

1. Remover las biopelículas formadas debido a las bajas velocidades de flujo.
2. Remover los depósitos minerales causados ya sea por fenómenos de corrosión al interior de las tuberías y/o depósitos de partículas minerales provenientes de la fuente de agua cruda o causados por el tipo de tratamiento en la planta de potabilización, debido a las velocidades de flujo que maneja.

3. Generar un esfuerzo cortante alto.
4. Poner en movimiento todos los depósitos del material inorgánico al interior de la tubería.

El lavado unidireccional debe permitir la remoción de las arenas acumuladas en los sifones invertidos y desprender las biopelículas y los depósitos inorgánicos depositados al interior de la tubería. En caso que se opte por esta solución, el diseño debe contemplar la instalación de una estación de vaciado de la tubería de conducción, la cual debe estar compuesta por una válvula especial o una válvula acompañada por su estructura de disipación de energía y su canal para conducir el agua de descarga hacia un cuerpo receptor al interior del municipio, tal como se establece en el literal B.6.7.9.

Las consideraciones de lavado unidireccional establecidas en el diseño se recomiendan para el nivel de complejidad del sistema medio alto.

### 6.3.9 Retiros (anchos de servidumbres)

Para el caso de las aducciones y las conducciones, el ancho de las servidumbres debe ser el mínimo que permita en forma cómoda realizar las tareas de inspección y/o mantenimiento de dicha líneas. El ancho de servidumbre debe estar entre 4 y 6 m, dependiendo del diámetro de las tuberías, de las condiciones de instalación, de la facilidad de acceso, de la pendiente de las líneas, de la circulación de tráfico en la vía y del espacio necesario para las obras de los equipos de mantenimiento y/o inspección. El diseño también debe incluir las labores de mantenimiento que se deben realizar a las servidumbres a lo largo de toda la vida útil del proyecto.

### 6.3.10 Derivaciones de agua cruda

En aquellos casos en que la SSPD permita el uso de agua cruda desde una aducción, el cálculo hidráulico de ésta debe contemplar los caudales adicionales debidos a dicha derivación.

## 6.4 Parámetros de diseño

Los parámetros tratados en el presente literal constituyen los elementos básicos para el desarrollo del diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable. Es función del Viceministerio de agua y saneamiento básico, asesorado por la Junta Técnica Asesora del RAS, establecer los mecanismos, procedimientos y metodologías para la revisión, la actualización y la aceptación de los parámetros y valores para el diseño de sistemas de acueducto.

## 6.4.1 Período de diseño

El período de diseño de las aducciones o conducciones es función del nivel de complejidad del sistema y se encuentra establecido en la tabla B. 6.16.

**Tabla B. 6.16 Período de diseño según el nivel de complejidad del sistema para aducciones y conducciones**

Nivel de Complejidad del Sistema	Período de diseño
Bajo, Medio y Medio Alto	25 años
Alto	30 años

Para los niveles de complejidad del sistema medio, medio alto y alto, las aducciones o conducciones deberán ser analizadas y evaluadas teniendo en cuenta el período de diseño, para definir las etapas de construcción, según las necesidades del proyecto, basadas en la metodología de costo mínimo.

## 6.4.2 Caudal de diseño

Para calcular el caudal de diseño de las obras de aducción y/o conducción deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, la aducción y/o conducción deben diseñarse con el caudal máximo diario (QMD) correspondiente al final del período de diseño o año horizonte del proyecto, si se cuenta con almacenamiento aguas abajo. Para estos niveles de complejidad del sistema, como criterio primordial debe utilizarse en todo sistema un almacenamiento. En casos excepcionales, con la aprobación previa de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se pueden diseñar aducciones y/o conducciones sin almacenamiento. En estos casos se debe diseñar con el caudal máximo horario (QMH), utilizando el coeficiente de consumo máximo horario segun lo dispuesto en el numeral B.2.8.2.3. En aquellos casos, para estos niveles de complejidad del sistema, en que se cuente con sistemas de bombeo ya sea en las aducciones o en las conducciones, el caudal de diseño corresponde al caudal máximo diario (QMD) proyectado al periodo de diseño, afectado por el porcentaje de horas diarias de bombeo.
2. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, la aducción y/o conducción debe diseñarse con el caudal máximo diario (QMD). En estos casos es obligatoria la existencia de almacenamiento de agua.

3. En el caso que el sistema de acueducto incluya una aducción en canal abierto, el caudal de diseño debe aumentarse en tal forma que se incluyan las pérdidas por evaporación que ocurrán en los canales, y si éste no está revestido, también deben incluirse las pérdidas por infiltración.

## 6.4.3 Canales a flujo libre para aducciones

Siempre que la aducción sea totalmente en canal abierto, o parcialmente u opere como una tubería o túnel parcialmente lleno, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos de diseño:

### 6.4.3.1 Análisis de costo mínimo

El dimensionamiento de los canales debe justificarse a través de un análisis de costo mínimo que siga los lineamientos establecidos en el Título A del RAS: “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico”. El análisis de costo mínimo debe establecer, en los casos en que sea factible, las diferentes etapas en que se debe construir la aducción.

Para el nivel de complejidad del sistema bajo no se requiere un análisis de costo mínimo, aunque es recomendado.

### 6.4.3.2 Materiales

Para la selección del material o de los materiales que conformen la aducción, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La elección del material para la aducción debe efectuarse con base en las características topográficas, la agresividad del agua cruda, la agresividad del suelo con el material de la aducción (ya sea en canales o tuberías) las velocidades de flujo en el caso de canales, las presiones máximas y mínimas en el caso de ductos a presión, la presión a cargas externas, las condiciones de zanja, de instalación y del terreno, el análisis económico y los costos de mantenimiento.
2. Un sistema de aducción puede estar constituido por tramos de diferentes tipos de materiales, elegidos de conformidad con el tipo de funcionamiento, operación y mantenimiento, condiciones de implementación en el terreno y los esfuerzos actuantes.
3. En los puntos de transición entre tramos de diferentes materiales del sistema de aducción, deben disponerse elementos especiales destinados a la unión de los tramos, que impidan pérdidas de agua o generación de esfuerzos o cualquier otro fenómeno capaz de perjudicar la aducción.

### 6.4.3.3 Coeficientes de rugosidad

El coeficiente de rugosidad  $n$  de Manning que debe utilizarse en el diseño de los canales depende, en general, del tipo de material del canal. En la siguiente tabla se establecen los coeficientes  $n$  de Manning para diferentes materiales.

Tabla B. 6.17 Coeficientes de rugosidad de Manning

Material del canal	$n$ de Manning
Cemento mortero	0.013
Cemento pulido	0.011
Concreto áspido	0.016
Concreto liso	0.012
Mampostería	0.015
Piedra	0.025
Piedra sobre mortero	0.035

### 6.4.3.4 Velocidad mínima

La velocidad mínima permisible estará determinada por el menor valor que evite la sedimentación.

El valor de la velocidad mínima debe estar determinado como una función del esfuerzo cortante mínimo necesario para producir el arrastre de las partículas sedimentables que no hayan sido retenidas por los desarenadores. El esfuerzo cortante crítico de arrastre debe calcularse según el literal B.6.5.1.2 de este Título.

### 6.4.3.5 Velocidad máxima

La velocidad máxima en el canal de aducción dependerá del caudal que ésta mueva, del radio hidráulico y del material de las paredes. Además, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. La velocidad máxima en los canales de la aducción dependerá del riesgo de erosión que ésta pueda sufrir.
2. En las siguientes tablas se dan algunos valores de referencia de velocidades máximas en canales revestidos y no revestidos. En caso que el diseño involucre algún material no contenido en las tablas, debe justificarse la velocidad máxima adoptada.

Tabla B. 6.18 Velocidades máximas en canales revestidos (m/s)

Tipo de revestimiento	Características del material	Velocidad máxima
Revestimiento de hormigón (agua libre de arenas y piedras).		12.5
Mampostería convencional o en piedra.		3.7
Gaviones (0.5 m y mayor).		4.7

Tipo de revestimiento	Características del material	Velocidad máxima
Piedras grandes		3.0
Capas de piedra o arcilla (100 mm a 150 mm).		2.4
Suelo apisonado con piedra.	Piedra de 150 – 200 mm.	2.6
Suelo apisonado con piedra.	Piedra de 200 – 300 mm.	3.0
Capa doble de piedra.	Piedra de 150 – 200 mm.	3.0
Capa doble de piedra.	Piedra de 200 – 300 mm.	3.1

Tabla B. 6.19 Velocidades máximas en canales no revestidos según el material en suspensión (m/s)

Material excavado en la construcción del canal	Velocidades en m/s en los canales que transportan materiales en suspensión.		
	Agua limpia sin detritos	Agua con sedimentos coloidales	Agua que lleva sedimentos no coloidales, arenas, gravas o fragmentos de rocas.
Arena fina (no coloidal)	0.4	0.8	0.4
Barro arenoso (no coloidal)	0.5	0.8	0.6
Barro de sedimentación (no coloidal)	0.6	0.9	0.6
Materiales de aluvión no coloidales	0.6	1.1	0.6
Barro compacto ordinario	0.8	1.1	0.7
Cenizas volcánicas	0.8	1.1	0.6
Grava fina	0.8	1.5	1.1
Arcilla dura (muy coloidal)	1.1	1.5	0.9
Barro que forma gradualmente cantos terrosos, no coloidales.	1.1	1.5	1.5
Materiales de aluvión coloidales.	1.1	1.5	0.9
Sedimentos que forman gradualmente cantos coloidales.	1.2	1.7	1.5
Grava gruesa no coloidal.	1.2	1.8	2.0
Guijarros y piedras.	1.5	1.7	2.0
Pizarras y esquistos.	1.8	1.8	1.5

Para cumplir los requerimientos de velocidad máxima en el canal de aducción y cuando las condiciones topográficas locales lo exijan, la aducción a superficie libre debe diseñarse en forma escalonada.

#### 6.4.3.6 Pendiente mínima

La pendiente mínima adoptada para los canales de aducción debe evitar la sedimentación de partículas más pequeñas.

### 6.4.3.7 Pendiente máxima

La pendiente máxima que será admitida en una aducción en canal será aquella para la cual la velocidad del agua no sea superior a los valores establecidos en la tabla B. 6.18 o la tabla B. 6.19 del literal B.6.4.3.5 de este Título.

Además debe cumplirse los siguientes requisitos:

1. En el caso que las condiciones topográficas impliquen pendientes superiores a la pendiente máxima que no produzca erosión, el canal debe estar diseñado en forma escalonada. El escalonamiento será obtenido por estructuras que proporcionen caídas verticales o caídas inclinadas.
2. En una caída vertical, el cambio de cota del agua se debe hacer en caída libre.
3. Al final de una caída libre debe haber una estructura de disipación de energía de forma que el flujo se entregue con una energía cinética igual a la que tenía antes de la caída.
4. En una rápida (caída inclinada con una pendiente alta), el agua pasará de un flujo subcrítico a un flujo supercrítico a lo largo de un canal inclinado construido en un material (concreto, mampostería, etc.) capaz de resistir en forma adecuada las velocidades que se presentarán para permitir la concordancia entre los tramos superior e inferior.
5. Al final de la rápida debe existir una estructura de disipación de energía capaz de absorber la energía cinética extra del agua al llegar a la parte inferior de la rápida. El flujo se debe entregar con una energía cinética igual a la que tenía inmediatamente antes de entrar a la rápida.

### 6.4.3.8 Taludes laterales

La inclinación de los taludes de la sección transversal del canal de aducción sin revestimiento, abierta en terreno natural, no pueden ser superiores al ángulo del talud natural del terreno y debe ser más suave en terraplenes que en cortes. Se recomienda respetar los límites establecidos en la siguiente tabla.

**Tabla B. 6.20 Inclinación de taludes en canales de aducción**

Naturaleza del terreno o material del canal	Inclinación Horizontal : Vertical	
	Corte	Terraplén
Roca compacta, mampostería ordinaria o concreto	1:4	
Roca fisurada o mampostería con junta seca	1:2	
Arcilla consistente	3:4	1:1
Grava gruesa	3:2	2:1
Tierra ordinaria o arena gruesa	2:1	3:1
Tierra media o arena normal	2.5:1 a 3:1	3:1 a 3.5:1

### 6.4.3.9 Pérdidas de altura piezométrica

Durante el diseño de los canales de aducción deben tenerse en cuenta coeficientes de pérdidas menores en los siguientes casos:

1. Cuando el trazado en planta del canal de aducción esté constituido por tramos curvos con un radio de curvatura inferior a 20 veces el radio hidráulico, debe dimensionarse el canal considerando la pérdida de altura piezométrica que la curva pueda ocasionar.
2. En los cambios de sección no se permitirán perfiles de agua irregulares con puntos angulares que produzcan perturbaciones. También deben evitarse los regímenes de flujo que se aproximen al estado crítico con el fin de evitar que se produzcan resaltos que perturben el flujo. En estos cambios de sección deben incluirse los coeficientes de pérdidas menores para calcular el perfil de flujo en el canal.

### 6.4.3.10 Transiciones

Cuando un canal de aducción presente tramos unidos por secciones presurizadas de sección circular, la concordancia entre los mismos se hará por medio de una transición.

### 6.4.3.11 Dispositivos de derivación

En el caso que existan derivaciones desde el canal de aducción, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Cuando en un conducto abierto se prevea una derivación también en canal abierto, en el punto de derivación deben existir elementos capaces de controlar el caudal en cualquiera de los dos canales a partir de dicho punto, pero no necesariamente en ambos simultáneamente.
2. En puntos escogidos a lo largo de la aducción deben preverse dispositivos derivadores de agua o vertederos con las siguientes finalidades: dar salida al exceso de agua en caso de maniobras inconvenientes del dispositivo regulador o controlador de caudales; dar salida a las aguas cuando no haya el consumo esperado; permitir el aislamiento y el 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 de tal forma que quede asegurada la total estabilidad de la aducción con respecto al poder erosivo de las aguas derivadas.

### 6.4.3.12 Aislamiento por contaminación

En general, debe preservarse la calidad microbiológica del agua diseñando la aducción, ya sea como un conducto cerrado, una canalización cubierta o una canalización aislada. Además, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Los canales abiertos, o con recubrimientos discontinuos, deben estar protegidos de la escorrentía superficial mediante jarillones situados por encima del nivel del terreno adyacente. En todos los casos, las aguas de escorrentía deben ser convenientemente canalizadas, sin que la aducción se convierta en un obstáculo para su paso.
2. Cuando un conducto libre esté constituido por un canal abierto en terreno natural, debe ser impermeable o debe ser impermeabilizado.
3. Los conductos libres que transporten aguas tratadas deben estar totalmente cerrados y tener paredes y fondo impermeables.

## 6.4.4 Conductos a presión para aducciones y conducciones

### 6.4.4.1 Análisis de costo mínimo

Ya sea que el sistema de aducción o conducción a presión opere a gravedad o por bombeo, debe realizarse un análisis de costo mínimo que incluya todo el conjunto de los componentes que integran el sistema de la aducción. Este análisis de costo mínimo es obligatorio para los niveles de complejidad del sistema medio, medio alto y alto. Para el nivel de complejidad del sistema bajo es recomendable efectuar el análisis de costo mínimo. Debe seguirse lo establecido sobre costo mínimo en el Título A del RAS: “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico”.

### 6.4.4.2 Requisitos para tuberías

Cuando la aducción o la conducción estén compuestas por una tubería que funcione a presión deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. El tipo de tuberías, de juntas, de materiales y de apoyos debe ser adecuado a la forma de instalación, garantizando la completa estanqueidad del conducto. Así mismo, la tubería debe estar protegida contra impactos, en aquellos casos en que se requiera de acuerdo con los lineamientos de las normas y las recomendaciones del fabricante de cada material.

2. Todas las tuberías que forman parte de una aducción o de una conducción deben cumplir con el Reglamento Técnico de Tuberías expedido por el MAVDT, Resoluciones 1166 del 2006, 1127 de 2007 o aquellas que las modifique, adicione o sustituya.
3. Las tuberías formadas por segmentos rectos pueden colocarse en curva, si es necesario, mediante la desviación angular de las tuberías en sus juntas, si estas son del tipo flexible. Sin embargo, para municipios situados en zonas de amenaza sísmica alta no se recomienda desviar las tuberías en las uniones mecánicas, con el fin de mantener su flexibilidad y dar seguridad a la conducción y/o aducción. En el caso de juntas flexibles, la desviación angular máxima posible en cada junta, con excepción de las juntas con características especiales, será la indicada por el fabricante de la tubería en sus catálogos pero no podrán ser superiores a los valores de la tabla B. 6.21.

Tabla B. 6.21 Desviaciones angulares máximas en tuberías

Diámetro tubo (mm)	Desviación angular
300 o menores	3° 0'
400	2° 40'
450	2° 25'
500	2° 10'
600	1° 45'
750	1° 25'
900	1° 10'
1000 y mayores	1° 5'

En el caso de tuberías flexibles, los radios de curvatura mínimos son mostrados en la tabla B.6.22 éstas podrán ser deflectadas para formar curvas siguiendo lo establecido en las Normas Técnicas Colombianas o en normas técnicas internacionales, en caso de que las primeras no existan.

Tabla B. 6.22 Radio mínimo de curvatura

RDE de la tubería	Radio mínimo de curvatura
≤ 9	20 veces el diámetro exterior del tubo
>9 – 13.5	25 veces el diámetro exterior del tubo
>13.5 – 21	27 veces el diámetro exterior del tubo
>21	30 veces el diámetro exterior del tubo
Accesorio o flanche presente en la curva	100 veces el diámetro exterior del tubo

#### 6.4.4.3 Requisitos para tuberías por bombeo

En las tuberías de aducción o conducción que operen por bombeo se deben tener en cuenta adicionalmente los siguientes requerimientos:

1. Los conductos a presión por bombeo no pueden interceptar en ningún momento ni para ningún caudal la línea piezométrica, en sus condiciones normales de funcionamiento.
2. En el punto en que un ducto a presión por bombeo se transforme en un ducto a presión por gravedad, en el caso de ausencia de otros medios, para garantizar el perfecto funcionamiento debe preverse un tanque para el quiebre de la presión; este tanque debe tener un vertedero y un conducto para el agua vertida, dimensionados para el caudal máximo de la aducción o conducción.
3. Cuando las condiciones topográficas del trazado de la tubería presente aproximación entre la tubería y la línea piezométrica, el flujo debe realizarse por gravedad a partir del punto de mínima presión.

#### 6.4.4.4 Materiales para las tuberías de aducción y conducción

Para la selección de los materiales de las tuberías deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

1. La resistencia contra la corrosión y la agresividad del suelo.
2. Tipo de uniones y necesidad de anclaje.
3. La resistencia a los esfuerzos mecánicos producidos por las cargas, tanto internas como externas.
4. Las características de comportamiento hidráulico del proyecto, incluyendo las presiones de trabajo máximas y mínimas, las sobrepresiones y subpresiones, causadas por golpe de ariete, etc.
5. Las condiciones económicas del proyecto.
6. Las condiciones de transporte e instalación adecuadas para el tipo de terreno que cruce la aducción.
7. La condición de zanja de la tubería a instalar.
8. La resistencia contra la tuberculización e incrustación en las tuberías.
9. La vida útil tenida en cuenta para el desarrollo del proyecto.

Debe elegirse el material de las tuberías teniendo en cuenta que sus características satisfagan las necesidades del proyecto, considerando no solamente uno o dos de los puntos anteriormente indicados, sino examinándolos en conjunto y con los costos de la inversión inicial y los costos de mantenimiento a largo plazo, así como con la seguridad y la vulnerabilidad de la tubería.

El consultor debe conocer las características que presentan los distintos materiales típicamente utilizados en tuberías para conductos a

presión. Para ello, debe consultar la información técnica mínima contenida en los catálogos de las tuberías, cuya actualización se exige a los fabricantes, importadores y comercializadores, en cumplimiento del Reglamento Técnico de Tuberías expedido por el MAVDT, Resoluciones 1166 del 2006, 1127 de 2007 o aquellas que las modifiquen, adicionen o sustituyan.

Podrán utilizarse tuberías de materiales comerciales siempre y cuando se conozcan las características técnicas de esos materiales, se cumplan con las normas técnicas nacionales o internacionales, de reconocimiento internacional para ese producto y uso, demostrado mediante certificado de producto, y éstos sean aprobados por la persona prestadora del servicio en el municipio.

Los materiales a utilizar deben cumplir con las especificaciones de las Normas Técnicas Colombianas correspondientes, o en caso que éstas no existan, de las normas internacionales AWWA, ISO, ASTM o DIN u otras de reconocimiento internacional que le aplique, siempre y cuando contengan el requisito que se debe controlar.

En la tabla B.6.23 se muestran algunas normas técnicas sobre tuberías; que deben cumplirse dando prioridad a la Norma Técnica Colombiana correspondiente.

**Tabla B. 6.23 Especificaciones y normas técnicas sobre tuberías**

Material de la Tubería	Norma Técnica Colombiana	Otras Normas (Selección a criterio del fabricante)
Acero	NTC 10 NTC 11 NTC 2587 NTC 3470 NTC 4001	AWWA C 200 AWWA C 205 AWWA C 208 ASTM A 589
Concreto reforzado con o sin cilindro de acero - CCP	NTC 747	AWWA C 300 AWWA C 301 AWWA C 302 AWWA C 303 AWWA C 304 AWWA C 361 ASTM C 822
Poliéster reforzado con fibra de vidrio - GRP	NTC 3871 NTC 3919	ASTM D 2310 ASTM D 2992 ASTM D 2996 ASTM D 2997 ASTM D 3517 AWWA C 950
Hierro dúctil – HD	NTC 2587 NTC 2629	AWWA C 153 ISO 2531 ISO 4179 ISO 8179

Material de la Tubería	Norma Técnica Colombiana	Otras Normas (Selección a criterio del fabricante)
Polietileno de alta densidad – PEAD	NTC 872 NTC 1602 NTC 1747 NTC 2935 NTC 3664 NTC 3694 NTC 4585	AWWA C 901-96 AWWA C 906-90 ASTM D 2239 ASTM D 2737 ASTM D 3035 ASTM D 3350 ASTM F 714 EN 13244 ISO 4427
Polivinilo de cloruro – PVC Y PVCO	NTC 382 NTC 369 NTC 539 NTC 1339 NTC 2295	ASTM D 1784 ASTM D 2241 ASTM D 2855 ASTM F 1483 AWWA C 900 AWWA C 905 AWWA C 907 DIN 16961

NOTA: Las Normas Técnicas Colombianas NTC tienen prioridad sobre las normas internacionales.

#### 6.4.4.5 Especificaciones y control de calidad de tuberías para aducciones y conducciones

En relación con las especificaciones técnicas de las tuberías y de sus accesorios, debe cumplirse con los requerimientos del Reglamento Técnico de Tuberías, Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007 del MAVDT, y de las normas técnicas colombianas correspondientes, y en caso que éstas no existan, con normas técnicas internacionales, de reconocimiento internacional, siempre y cuando contenga el requisito que se debe controlar, demostrado mediante certificado de producto, tales como las normas AWWA, ASTM, DIN u otras normas técnicas equivalentes. Algunas de ellas, se encuentran en la tabla B. 6.24.

Tabla B. 6.24 Ensayos de control de calidad y normas técnicas sobre tuberías

Material de la tubería	Ensayos por material	Normas Técnicas NTC	Otras Normas
Acero	Prueba hidrostática de tubo recto		AWWA C200
	Propiedades físicas		ASTM A370
	Propiedades químicas		ASTM A751
Concreto reforzado con o sin cilindro de acero - CCP	Propiedades		AWWA C 300

Material de la tubería	Ensayos por material	Normas Técnicas NTC	Otras Normas
Concreto reforzado con o sin cilindro de acero - CCP	Propiedades		AWWA C 301 AWWA C 302 AWWA C 303 AWWA C 304
Hierro dúctil	Acoplos y accesorios	NTC 2587	
Polivinilo de Cloruro - PVC	Dimensiones	NTC 3358	ASTM D 2122
	Aplastamiento	NTC 382	ASTM D 2241
	Acondicionamiento de plásticos	NTC 718	ASTM D 618
	Atoxicidad	NTC 539	NFS Standard 14
	Olor y sabor		NFS Standard 14
	Tiempo de falla a presión constante	NTC 3578	ASTM D 1598
	Presión de rotura a corto plazo	NTC 3579	ASTM D 1599
	Clasificación del compuesto para extrusión de PVC y CPVC.	NTC 369	ASTM D 1784
	Resistencia al impacto	NTC 1125	ASTM D 2444
	Calidad de extrusión		ASTM D 2152
Polivinilo de Cloruro Orientado – PVC O	Prueba hidrostática	NTC 3257	ASTM D 2837
	Dimensiones y tolerancias	NTC 5425 NTC 3358	
	Presión de sostenida	NTC 5425	ASTM D 1598
	Presión de rotura	NTC 5425	ASTM D 1599
	Aplastamiento	NTC 5425	
	Calidad de Extrusión	NTC 5425	ASTM D 2152
Poliéster reforzado con fibra de vidrio – GRP	Impacto	NTC 5425	ASTM D 2444
	Dimensionamiento	NTC 3871	ASTM D 3567
	Resistencia a tensión hidrostática a largo plazo	NTC 3871	ASTM D 2992
	Resistencia a tensión diagonal	NTC 3871	
	Resistencia a tensión longitudinal	NTC 3871	ASTM D 638
	Resistencia a compresión longitudinal	NTC 3871	ASTM D 695
	Tensión transversal	NTC 3871	ASTM D 2290
	Ensayo de solidez	NTC 3871	
	Ensayo de rigidez		ASTM D 2412
	Contenido de vidrio		ASTM D 2584, ISO 1172
Polietileno	Estanqueidad de juntas		ASTM D 4161
	Dimensiones y tolerancias	NTC 3358	ASTM D 2122

Material de la tubería	Ensayos por material	Normas Técnicas NTC	Otras Normas
Polietileno	Contenido negro de humo	NTC 664	ASTM D 4218 ANSI/ASTM D1603
	Presión de rotura	NTC 3257	ASTM D 1598 ASTM D 1599
	Tiempo de falla a presión constante	NTC 3578	ASTM D 1598
	Esfuerzo de anillos a tensión	NTC 4392	ASTM D 2290
	Densidad	NTC 3577	ASTM D 2839 - ASTM D 1505
	Tasa de flujo	NTC 3576	ASTM D 1238
	Prueba de flexión		AWWA C 906-90
	Agrietamiento ambiental	NTC 1602†	
	Reversión longitudinal	NTC 4451-1	ISO 2505-1
	Reversión longitudinal	NTC 4451-2	ISO 2505-2
	Estabilidad térmica		ISO/TR 10837
	Dispersión de pigmentos		ISO 13949
	Rotura a corto plazo	NTC 3579	ASTM D 1599
	Atoxicidad	NTC 539	NSF 61
	Envejecimiento natural		ISO 4607
	Propiedades de tensión		ISO 6259 Parte 1 y 3

†Sólo para Polietileno clase 40

Los proveedores de las tuberías que van a ser utilizadas para las aducciones y/o conducciones deben presentar el certificado de cumplimiento del reglamento técnico de tuberías y sus accesorios (Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007 expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o las que modifiquen, adicionen o sustituyan). Se recomienda además contar con:

- La certificación de control de calidad otorgada por los organismos de certificación acreditados.
- La certificación de su utilización en trabajos exitosos y de importancia realizados en el pasado, ya sea en Colombia o en el exterior.

#### 6.4.4.6 Presiones en la aducción o en la red de conducciones

La presión interna de diseño de las tuberías que conforman las aducciones a presión o conducciones debe calcularse como el mayor valor que resulte entre la presión estática y la máxima sobrepresión ocurrida por causas de un fenómeno de golpe de ariete, calculada según el literal B.6.5.8 de este documento, multiplicado por un factor de seguridad, de acuerdo con la ecuación (B. 6.1) y la ecuación (B. 6.2).

$$P_{\max} = \max(P_{\text{estática}}, P_{\text{transiente}}) \quad (\text{B. 6.1})$$

$$P_{\text{diseño}} = k \cdot P_{\max} \quad (\text{B. 6.2})$$

donde:

- $P_{\max}$  = Presión máxima entre la presión estática y la presión transiente(m.c.a)
- $P_{\text{estática}}$  = Presión estática (m.c.a).
- $P_{\text{transiente}}$  = Presión causada por fenómenos transientes (m.c.a).
- $P_{\text{diseño}}$  = Presión de diseño (m.c.a).
- K = Factor de seguridad (igual que 1.1 para conducciones por gravedad; igual que 1.3 para conducciones por bombeo).

La presión nominal de trabajo de las tuberías y de todos sus accesorios debe ser mayor que la presión de diseño calculada de acuerdo con la Ecuación (B. 6.2). El diseño estructural de las tuberías siempre debe realizarse teniendo en cuenta el capítulo G.3 “Aspectos estructurales” del Título G del RAS: “Aspectos Complementarios”.

En todo caso, la presión nominal de trabajo de las tuberías, válvulas y demás accesorios debe ser indicada por el fabricante considerando los factores de seguridad que considere convenientes, cumpliendo siempre con las pruebas, ensayos y normas técnicas correspondientes al material, al tipo de accesorio y/o al tipo de válvula.

En el caso que en alguno de los trazados de las aducciones a presión o las conducciones se obtengan grandes presiones, debe efectuarse un análisis técnico-económico comparativo entre la posibilidad de adoptar las tuberías con altas presiones o la alternativa de disponer válvulas reguladoras de presión y tuberías de menor presión. Siempre debe verificarse que la presión resultante sea lo suficientemente alta para alcanzar bajo cualquier condición de operación las zonas más altas del trazado.

La presión mínima en las tuberías de conducción, calculadas para la situación del caudal máximo, debe ser por lo menos 5.0 m.c.a. sobre la cota del terreno para la condición más crítica de operación hidráulica.

#### 6.4.4.7 Calidad de agua en las tuberías de conducción

Durante la etapa de diseño de las conducciones, y para todos los niveles de complejidad del sistema, es necesario conocer la calidad de agua, con el fin de asegurar que el agua distribuida cumple, en toda la extensión de la conducción o la red de conducciones, con la calidad estipulada en el Decreto 1575 de 2007 o la norma que lo modifique, adicione o sustituya.

Con el fin de realizar los cálculos de la evolución de la calidad del agua a lo largo de todo el sistema de conducciones, se deben utilizar los coeficientes

de reacción con la pared de la tubería ( $k_w$ ) y de reacción con el volumen de agua ( $k_b$ ) (Ver literal B.6.5.5). El coeficiente de reacción  $k_w$  representa las reacciones que se producen entre el agua transportada y los materiales que se encuentran adheridos a la pared interna de la tubería (biopelículas, productos de corrosión, etc.). Para efectos de cálculo de la evolución de la calidad del agua se recomiendan los siguientes coeficientes de reacción con la pared de la tubería:

**Tábla B. 6.25 Coeficientes de decaimiento**

Material interno de la pared de la tubería	$k_w$ (día-1)
Tubería de acero	-0.05
Tuberías asbesto cemento	-0.05
Tubería CCP	-0.0515
Tubería PVC y PVCO	-0.05
Tubería hierro dúctil	-0.01
Tubería de hierro dúctil con revestimiento de mortero de cemento	-0.0515
Tubería fibra de vidrio	-0.05
Tubería de Polietileno	-0.05

En caso que la persona prestadora del servicio de acueducto del municipio objeto del diseño de las conducciones tenga mediciones de campo que establezcan el coeficiente de decaimiento  $k_w$ , estos valores deberán preferirse a los establecidos en la tabla B. 6.25.

El coeficiente de reacción con el volumen de agua  $k_b$ , representa las reacciones ocurridas entre el desinfectante y los constituyentes de la masa de agua. Para la obtención de este coeficiente, se deben tomar muestras de agua y almacenarlas en frascos de un litro, posteriormente a intervalos de tiempo se mide la concentración de desinfectante en las muestras de agua y se realiza la curva de decaimiento. La toma de muestras para la determinación de este coeficiente se debe realizar fundamentalmente a la salida de las plantas de tratamiento, en tanques de almacenamiento y/o compensación y en válvulas reductoras de presión.

Es responsabilidad de la persona prestadora del servicio de acueducto verificar en forma periódica los valores de dichos coeficientes.

#### 6.4.4.8 Diámetro mínimo de las tuberías de aducción y conducción

Para el cálculo de los diámetros mínimos para las tuberías de aducciones y/o conducciones el consultor debe emplear las ecuaciones de Darcy Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White, establecidas en el literal B.6.5.4.1 de este Título. De todas maneras, la elección del diámetro debe basarse en un estudio comparativo técnico económico, mediante las técnicas de optimización que hagan que el costo anual de la obra objeto del diseño sea mínimo. De todas formas, en la selección del diámetro mínimo el diseño debe analizar las presiones del trabajo, las velocidades de flujo y las longitudes de la línea de aducción y/o

conducción. Sin embargo, para el caso de aducciones que incluyan tuberías con flujo a superficie libre, el diámetro nominal mínimo que debe utilizarse es de 100 mm. Si para todas las condiciones de operación, la aducción va a incluir un flujo a presión, el diámetro nominal mínimo es de 75 mm. En el caso de conducciones, el diámetro nominal mínimo debe ser de 75 mm. El consultor debe realizar los cálculos necesarios que permitan garantizar que, con el diámetro interno real de la tubería seleccionada, se cumplen las condiciones de diseño establecidas.

#### 6.4.4.9 Diámetros económicos para las tuberías de aducción y conducción cuando sean impulsiones

Si la conducción y/o aducción incluye una línea de impulsión de bombeo, el diseño debe utilizar la Ecuación (B. 6.3) para establecer un diámetro inicial en el proceso iterativo que defina el diámetro más económico.

$$De = 1.2 \sqrt{Q \left( \frac{t}{24} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{B. 6.3})$$

donde:

- t = Número de horas de bombeo por día (horas).
- Q = Caudal de bombeo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- De = Diámetro económico interno (m).

El diámetro definitivo de las tuberías de impulsión en una estación de bombeo debe obedecer al análisis económico hecho utilizando un programa de computador en el cual se analice el costo de la energía de bombeo versus el costo de la tubería y el sistema de tuberías aguas abajo de la bomba.

#### 6.4.4.10 Velocidades en las tuberías de aducción y/o conducción

Teniendo en cuenta que en el agua que fluye a través de las tuberías de aducción y/o conducción existen materiales sólidos en suspensión, el diseño debe adoptar una velocidad mínima en las tuberías. La velocidad mínima correspondiente al caudal del diseño debe ser de 1m/s; adicionalmente en el momento de entrar en operación la aducción o la conducción objeto del diseño, la velocidad mínima debe ser de 0.5 m/s, aunque este último valor dependerá de la características de autolimpieza, de la calidad del agua y de la magnitud de los fenómenos hidráulicos que ocurran en la tubería. En aquellos casos en los cuales las aducciones y/o conducciones que puedan operar por gravedad y que no cumplan con los anteriores requisitos de velocidad, antes de considerar la opción de un bombeo, se debe hacer un análisis más detallado de sus características relacionadas con el arrastre de sólidos.

Con respecto a la velocidad máxima en las tuberías de aducción y conducción, en general no existe un límite superior para la velocidad en las

tuberías que las conforman. El límite de la velocidad está dado por la presión máxima producida por fenómenos de golpe de ariete y por la cimentación requerida por las tuberías a causa del esfuerzo cortante ocasionado por dichas altas velocidades. Adicionalmente, para el caso de las tuberías de aducciones, debido a la alta posibilidad del transporte de materiales sólidos abrasivos, tales como arenas, se debe tener en cuenta la vulnerabilidad de las tuberías a fenómenos de abrasión y erosión. Para todos los niveles de complejidad del sistema, la velocidad máxima debe ser de 6 m/s.

Los valores de velocidad máxima permisible deben justificarse nuevamente desde la etapa de diseño, teniendo en cuenta la información técnica mínima contenida en los catálogos de los fabricantes, importadores y comercializadores de las tuberías y deben ser aprobados por la persona prestadora del servicio de acueducto. El Viceministerio de Agua y Saneamiento del MAVDT, asesorado por la Junta Técnica Asesora del RAS debe establecer los mecanismos, procedimientos y metodologías para la revisión, actualización y aceptación de los valores apropiados de la velocidad máxima permisible para propósitos de diseño de aducciones y conducciones.

#### 6.4.4.11 Velocidades para control de biopelículas

En caso que el consultor identifique condiciones de la calidad del agua de la fuente de abastecimiento que favorezcan el crecimiento de biopelículas, tales como altos niveles de Carbono orgánico soluble y de Hierro y Manganese; teniendo en cuenta el posible crecimiento de películas biológicas en las paredes internas de las tuberías que conforman la conducción y su consecuente desprendimiento, el diseño debe contemplar unas velocidades mínimas y máximas bajo condiciones normales de operación. Con el fin de retardar el crecimiento y/o regeneración de películas biológicas, la velocidad mínima debe ser 1.0 m/s. Por otra parte, para evitar el desprendimiento de éstas, el diseño debe especificar la forma de asegurar, bajo cualquier condición especial de operación, el que en alguna tubería la velocidad máxima de flujo no supere 1.5 veces la velocidad máxima de flujo bajo condiciones normales. También se debe evitar el que se reverse la dirección del flujo, en cualquiera de las tuberías, bajo dichas condiciones especiales de operación.

#### 6.4.4.12 Velocidades para remoción de biopelículas

Con el fin de desprender películas biológicas y/o depósitos inorgánicos al interior de las tuberías de conducción, para todos los niveles de complejidad del sistema, el diseño debe garantizar una velocidad de lavado en las tuberías que no sea inferior a 1.8 m/s. En todo caso las operaciones de lavado implican que las tuberías estén provistas de sus respectivas válvulas de control, estructuras de disipación de energía y canales de escape para conducir el agua lavada hacia los cuerpos receptores al interior del municipio.

El diseño debe incluir estos elementos y todos los cálculos necesarios que permitan evaluar el comportamiento de la tubería operando a esta velocidad. El diseño debe utilizar programas de modelación hidráulica de conductos a presión basados en el método del gradiente hidráulico.

#### 6.4.4.13 Pendientes de las tuberías de aducción y conducción

Con el objeto de permitir la acumulación de aire en los puntos altos de la tubería y su correspondiente eliminación a través de las válvulas de ventosa colocadas para este efecto y con el fin de facilitar el arrastre de los sedimentos hacia los puntos bajos y acelerar el desagüe de las tuberías, éstas no deben colocarse en forma horizontal.

Las pendientes mínimas recomendadas son las siguientes:

1. Cuando el aire circula en el sentido del flujo del agua, la pendiente mínima debe ser 0.04%.
2. Cuando el aire fluye en el sentido contrario al flujo del agua la pendiente mínima debe ser 0.1%.

En este último caso, la pendiente no debe ser menor que la pendiente de la línea piezométrica de ese tramo de la tubería de aducción o conducción.

Cuando sea necesario uniformizar las pendientes a costa de una mayor excavación, con el fin de evitar un gran número de válvulas ventosas y cámaras de limpieza, debe realizarse una comparación económica entre las dos opciones: mayor excavación o mayor número de accesorios.

#### 6.4.4.14 Profundidad de instalación de las tuberías a cota clave

Además de las recomendaciones establecidas en el literal B.6.3.2, de este Título, debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Para todos los niveles de complejidad del sistema la profundidad mínima para el tendido de las tuberías de aducción y/o conducción deben ser por lo menos 0.8 m para tuberías flexibles y de 0.45m para tuberías rígidas, ambas medidas desde la superficie del terreno hasta la clave de la tubería.
2. El eje de la tubería debe mantenerse alejado de las edificaciones con cimentaciones superficiales.
3. Debe mantenerse una profundidad mínima indispensable para la protección de la tubería y su aislamiento térmico.
4. En áreas de cultivo y cruces con carreteras, líneas de ferrocarril, avenidas, calles, aeropuertos, y para todos los niveles de complejidad del sistema la profundidad mínima de las tuberías de aducción y/o conducción debe ser de por lo menos 1.0 m para tuberías flexibles y de 0.62 m para tuberías rígidas, exceptuando aquellos casos en que el diseño incluya sistemas de protección debidamente justificados y aprobados por la persona prestadora del servicio del municipio, con el fin de disminuir dicho valor.

5. En caso que la tubería de aducción cruce suelos rocosos e inestables, deben tomarse las medidas de protección necesarias, tales como revestimientos de concreto simple, anclajes de concreto reforzado, etc.
6. En caso que la tubería se tienda en zonas con pendientes altas, se deben tener en cuenta todos los apoyos y anclajes antideslizantes.
7. En caso que se utilicen tuberías no resistentes a la luz ultravioleta, necesariamente éstas deben estar enterradas, o en su defecto protegidas de los rayos ultravioleta con pintura color aluminio o blanco.
8. Cuando por la naturaleza del terreno o por otras razones sea necesario poner la tubería muy próxima a la superficie, deben preverse los elementos de protección que aseguren que la misma no estará sometida a esfuerzos o deformaciones que puedan causar roturas o afectar el funcionamiento hidráulico normal de la tubería.
9. En caso que la línea de aducción o conducción esté sujetada a algún tipo de sumergencia temporal, debe tenerse en cuenta que podrán ocurrir levantamientos debidos a la subpresión cuando la tubería se encuentre vacía. En este caso debe preverse la colocación de las protecciones correspondientes si las características del agua freática presentan condiciones de agresividad.
10. En todos los casos debe verificarse que la línea piezométrica o línea de gradiente hidráulico quede ubicada, en las condiciones más desfavorables de los caudales previstos, por lo menos 5 m por encima de la cota de terreno.
11. La condición anterior no debe exigirse en los tramos inicial y final del conducto ligado a un embalse o a una cámara en contacto con la atmósfera.
12. Siempre que sea posible deben hacerse coincidir las deflexiones verticales con las horizontales.
13. Todos los pasos sobre quebradas, ríos, canales, depresiones y otras estructuras, deben enterrarse hasta donde sea posible, con el fin de minimizar los pasos aéreos a los estrictamente necesarios, teniendo en cuenta aspectos de seguridad, vulnerabilidad y menor costo de instalación. Además debe seguirse todo lo establecido en el literal B.6.7.7.

#### 6.4.5 Generación de alternativas

Siempre que se diseña una red de tuberías, existe una alta cantidad de combinaciones de diámetros de cada uno de los tubos que la conforman que cumplen con las condiciones hidráulicas de caudal transportado y de presión mínima en cada uno de los nodos. Por consiguiente, el diseño de una conducción nueva o la ampliación de una red de conducciones existente debe buscar la

alternativa óptima económica de combinación de los diferentes diámetros para cada una de las tuberías que la conforman, de tal forma que se cumplan con todas las restricciones hidráulicas.

Obtenido el prediseño de la aducción, conducción o red de conducciones debe realizarse el análisis de alternativas para condición de zanja, suministro e instalación de los tres materiales cuyos precios de lista del mercado sean los más bajos el primer día del mes en que se efectúa el análisis, que estén disponibles en el mercado y que cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto; el cálculo del diámetro de cada una de las tuberías de cada alternativa se debe hacer siguiendo lo establecido en el literal B.6.5.4 de este Título.

Las alternativas diferentes establecidas de esta forma, deben basarse en criterios hidráulicos y en condiciones de zanja y terreno, deben evaluarse dentro de un proceso de optimización financiera y económica que permita escoger la alternativa de menor costo, para lo cual tendrá en cuenta la resistencia a la corrosión, la resistencia a la presión y a cargas externas, la condición de zanja y su valoración económica, instalación, costo de tuberías y transporte de las mismas, con base en lo cual se debe obtener el diseño definitivo.

Para el cálculo del diseño óptimo económico que cumpla con las restricciones hidráulicas, y para todos los niveles de complejidad del sistema, en lo posible, se recomienda utilizar cualquier programa comercial de análisis de redes de tuberías que incluya el diseño optimizado mediante técnicas de inteligencia artificial, tales como algoritmos genéticos, lógica difusa, sistemas expertos, etc. incluyendo los costos de materiales, los costos de instalación y los costos de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto.

## 6.5 Diseño de las aducciones y conducciones

Este literal hace énfasis en el diseño hidráulico de las aducciones y/o conducciones en sistemas de acueducto. Los aspectos referentes al diseño estructural de las tuberías, al tipo de tuberías y a la interacción suelo tuberías, se debe seguir lo establecido en el literal B.6.6 de este Título y en el Título G del RAS: "Aspectos complementarios".

### 6.5.1 Diseño hidráulico de canales a flujo libre para aducciones

#### 6.5.1.1 Métodos de cálculo

Debe justificarse el método de cálculo para la sección transversal de los canales. Se recomienda el uso de la ecuación de Manning (Ecuación (B. 6.4)).

En el caso de secciones con rugosidad compuesta, se recomienda el uso de la fórmula de Strickler.

$$v = \left( \frac{1}{n} \right) \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B. 6.4})$$

donde:

- $v$  = Velocidad del flujo (m/s).
- $R$  = Radio hidráulico (m).
- $s$  = Pendiente longitudinal del canal (m/m).
- $n$  = Coeficiente de rugosidad de Manning ( $\text{s}/\text{m}^{1/3}$ ).

Siempre debe justificarse el coeficiente de rugosidad utilizado. En todos los casos el perfil longitudinal puede calcularse considerando flujo gradualmente variado mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - Fr^2} \quad (\text{B. 6.5})$$

donde:

- $\frac{dy}{dx}$  = Cambio de la profundidad de flujo con respecto al eje longitudinal de análisis (m/m).
- $S_0$  = Pendiente del fondo del tramo analizado (m/m).
- $S_f$  = Pendiente de fricción del flujo (m/m).
- $Fr$  = Número de Froude promedio de la sección de análisis (adimensional).

### 6.5.1.2 Esfuerzo cortante crítico de arrastre

El esfuerzo cortante crítico de arrastre es el esfuerzo capaz de provocar el inicio del movimiento del material que conforma el lecho y las paredes del canal de aducción. Este esfuerzo crítico se calculará así:

1. En el caso de suelos de grava con diámetros superiores a 2.5 mm, el esfuerzo cortante en el fondo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau_0 = 0.8 \times D_{75} \quad (\text{B. 6.6})$$

donde:

- $\tau_0$  = Esfuerzo cortante crítico de arrastre ( $\text{N}/\text{m}^2$ ).
- $D_{75}$  = Tamaño de partículas para el cual el 75% del material es más fino que este tamaño (mm).

Para las bancas del canal se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$\tau'_0 = k \times \tau_0 \quad (\text{B. 6.7})$$

$$k = \cos \phi \times \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}} \quad (\text{B. 6.8})$$

donde:

- $\tau'_0$  = Esfuerzo cortante crítico unitario de arrastre en las bancas del canal ( $\text{N/m}^2$ ).
- $k$  = Relación de esfuerzo cortante crítico (adimensional).
- $\phi$  = Ángulo del lado inclinado (grados).
- $\theta$  = Ángulo de reposo del material (grados).

2. Para el caso de suelos de gravas finas, de diámetro menor de 5 mm, se utilizarán los esfuerzos cortantes críticos establecidos en la siguiente tabla.

Tabla B. 6.26 Esfuerzos cortantes críticos dados ( $\text{N/m}^2$ )

Condición	Diámetro medio $D_{75}$ (mm)					
	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0
Agua clara	0.12	0.13	0.15	0.20	0.29	0.68
Agua con sedimentos finos en pequeña cantidad	0.24	0.25	0.27	0.29	0.31	0.81
Agua con sedimentos finos en gran cantidad	0.38	0.38	0.41	0.39	0.54	0.90

3. Suelos cohesivos: Los valores del esfuerzo cortante crítico para el caso de suelos cohesivos se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla B. 6.27 Esfuerzos cortantes críticos para suelos cohesivos ( $\text{N/m}^2$ )

Material cohesivo del lecho	NATURALEZA DEL LECHO			
	Muy poco compactado en relación con vacíos de 2.0 a 1.2	Poco compactado en relación con vacíos de 1.2 a 1.6	Compactado, en relación con vacíos de 0.6 a 0.3	Muy compactado en relación con vacíos de 0.3 a 0.2
Arcillas arenosas (% de arena inferior a 50%)	0.20	0.77	1.60	3.08
Suelo con grandes cantidades de arcilla	0.15	0.69	1.49	2.75
Arcillas	1.20	0.61	1.37	2.59
Arcillas muy finas	0.10	0.47	1.04	1.73

4. En el caso que existan curvas en los canales de aducción, deben realizarse las siguientes correcciones al valor del esfuerzo cortante crítico calculado: Si la aducción presenta pocas curvas (terreno

ligeramente accidentado), los valores del esfuerzo cortante crítico deben ser multiplicados por 0.9; si la aducción presenta un reducido número de curvas (terreno medianamente accidentado), los valores del esfuerzo cortante deben multiplicarse por 0.75; si el canal de aducción presenta muchas curvas (terreno muy accidentado), el valor del esfuerzo cortante debe multiplicarse por 0.6.

## 6.5.2 Diseño hidráulico de aducciones a presión y de conducciones en sistemas de acueducto

El diseño hidráulico de una aducción a presión o una conducción nueva o la ampliación de aducciones o conducciones existentes, incluye no solamente el cálculo del diámetro de la tubería, sino también un análisis hidráulico de su interacción con la red de conducciones existentes al igual que con la red de distribución de agua potable; por consiguiente, el diseño hidráulico de estos sistemas debe estar basado en los siguientes puntos:

1. Para el caso de aducciones a presión, la ecuación de diseño debe ser la de conservación de energía. Para las redes de conducciones que incluyan redes abiertas o circuitos cerrados, las ecuaciones que tienen que ser resueltas deben ser las ecuaciones de balance de masa en los nodos y las ecuaciones de conservación de energía en los circuitos.
2. Un método de cálculo de redes de tuberías que incluya el caso de redes abiertas y que a su vez esté basado en el método del gradiente para el cálculo de redes hidráulicas.
3. Los cálculos hidráulicos deben realizarse con el diámetro interno real tanto para las tuberías existentes como para la tubería objeto del diseño.
4. El diseño hidráulico debe tener en cuenta todos los accesorios que causen pérdidas menores relevantes tanto en las tuberías existentes como en la tubería objeto del diseño. Cada accesorio debe tener su coeficiente de pérdidas menores.

Para el análisis hidráulico de las conducciones deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Debe desarrollarse un análisis hidráulico de la línea de aducción a presión o de conducción que simule todas las condiciones de operación normales y de emergencia, definiendo el régimen de presiones y caudales a todo lo largo de la línea. Este análisis debe incluir las operaciones de lavado para control de biopelículas y de depósitos inorgánicos al interior de las líneas, lo cual es

obligatorio para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto y recomendado para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo.

2. Para todos los niveles de complejidad del sistema, y si la tubería de aducción supera los 200 mm de diámetro, el análisis hidráulico de las tuberías de aducción y/o conducción debe incluir un análisis de golpe de ariete que tenga en consideración todos los efectos hidráulicos de flujo no permanente causados por la operación normal de la conducción, operaciones bajo condiciones de mantenimiento y en situaciones de emergencias, incluyendo la determinación de la calidad de la tubería para soportar estos esfuerzos adicionales.

### 6.5.3 Modelo hidráulico de la red e implementación

En general, el diseño de la línea de conducción debe incluir su modelación matemática de tal forma que permita entender la hidráulica para cualquier condición de operación o cualquier condición de emergencia que se presente a lo largo de la vida útil del proyecto. En particular, el modelo hidráulico utilizado debe permitir el establecimiento de reglas de operación para el sistema de conducciones, bajo condiciones normales de operación o bajo condiciones especiales de mantenimiento y/o emergencia.

El modelo matemático debe montarse en cualquier programa de análisis de redes de acueducto basado la fórmula de Williams & Hazen, teniendo en cuenta su rango de validez, ó en el uso del método del gradiente en conjunto con las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Colebrook-White. El modelo hidráulico debe tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Recomendable que el programa tenga capacidad de análisis para período extendido, al igual que rutinas para la optimización de diseños hidráulicos mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial, tales como algoritmos genéticos, lógica difusa y sistemas expertos. En lo posible, es recomendable que el programa tenga también la capacidad de hacer análisis de calidad de agua en la red, tanto para flujo permanente como para flujo de período extendido, haciendo uso de coeficientes de decaimiento de sustancias químicas tanto por reacción con las paredes de las tuberías como por reacciones en el cuerpo de agua.
2. De todas formas, el método de cálculo y el programa utilizado para el análisis hidráulico de la red de conducciones debe permitir el análisis de líneas abiertas, en conjunto con el análisis de redes cerradas.
3. El programa utilizado en el diseño de la red de conducciones debe permitir el cálculo optimizado de ésta. Esto quiere decir que los

diámetros resultantes para cada una de las tuberías que conforman la red de conducciones deben estar optimizados desde el punto de vista de los costos globales de la red, incluyendo los costos de materiales, los costos de instalación y los costos de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto. También deben tenerse en cuenta aspectos de calidad de agua en la red, con el fin de garantizar que en todo momento se cumpla con lo establecido en el Decreto 1575 de los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o la norma que lo modifique, adicione o sustituya.

4. Para el cálculo hidráulico de la red, el programa utilizado debe hacer uso de las ecuaciones de pérdidas de energía por fricción en una tubería simple y de pérdidas de energía causada por los accesorios, tal como se establece en el literal B.6.5.4 de este documento.
5. Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, el programa utilizado para la simulación de la hidráulica de la red de conducciones debe comunicarse con los demás programas utilizados por la persona prestadora del servicio del municipio. En particular, el programa de cálculo hidráulico debe comunicarse con el sistema de información geográfica establecido para el municipio. Adicionalmente, debe tener la posibilidad de comunicarse con las bases de datos utilizadas por la persona prestadora del servicio así como con otros programas comerciales para el cálculo hidráulico de redes de conducción.
6. Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, en los casos de redes existentes, ampliaciones o extensiones a las redes de conducciones existentes, o para plantear reglas para su operación, el programa para el cálculo de la hidráulica de la red de conducciones debe contar con rutinas de calibración de redes, con el fin de obtener los diámetros reales internos, los coeficientes de pérdidas menores y las rugosidades absolutas de las tuberías existentes. Se recomienda que desde el proceso de diseño, el consultor establezca la forma de calibración del modelo hidráulico, buscando que haga uso de técnicas de inteligencia artificial, tales como algoritmos genéticos, lógica difusa, sistemas expertos y otros. Para la calibración se debe hacer uso de la base de datos de medidas telemétricas de caudales, velocidades, presiones y altura de la línea piezométrica en los diferentes puntos de medición localizados a todo lo largo de las líneas de conducción. En lo posible el modelo hidráulico adaptado para el diseño y la operación de las redes de conducciones debe contar con una rutina automática de calibración.

Los datos que se deben tener para generar el modelo hidráulico de una red de conducciones son:

1. Los datos de catastro de la red de conducciones existentes en la persona prestadora del servicio.
2. Datos sobre los diámetros internos reales de las tuberías y los coeficientes de fricción o rugosidad absoluta de cada una de ellas.
3. Coeficientes de pérdidas menores de todos los accesorios que conforman las líneas de conducción.
4. Ecuaciones y coeficientes de cada una de las válvulas que conforman el sistema de conducciones, en particular las válvulas localizadas a la llegada a los tanques de almacenamiento y/o compensación.
5. Asignación de caudales, controles (horas de cierre en elementos) y factores de consumo (curvas de consumo).
6. Datos sobre calidad del agua.

#### 6.5.4 Cálculo hidráulico de tuberías simples

Para el diseño hidráulico de las líneas de aducción a presión y de conducción debe efectuarse el estudio hidráulico del flujo a través de las tuberías con el fin de determinar las presiones en cada punto de estas. En ningún caso se permitirán presiones manométricas negativas. Además deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Para el cálculo hidráulico y la determinación de las pérdidas por fricción en las tuberías a presión que conformen aducciones o conducciones, debido a su importancia dentro del sistema de acueducto, debe utilizarse la ecuación de William & Hazen, en su rango de validez, o la de Darcy-Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White. En todos los casos, el diseño debe dejar claramente establecidas las suposiciones hechas para el cálculo del factor de fricción.
2. La ecuación de Darcy-Weisbach, utilizada en conjunto con la ecuación de Colebrook-White, es adecuada para todos los tipos de flujo turbulento, desde hidráulicamente liso hasta hidráulicamente rugoso.
3. En el cálculo del flujo en las tuberías debe considerarse el efecto producido por cada uno de los accesorios colocados en la línea de la conducción y que produzcan pérdidas de energía adicionales, tales como las válvulas, los codos, las reducciones, las ampliaciones, etc. En ningún caso se permite el cálculo de pérdidas producidas por los accesorios utilizando la metodología de longitud equivalente.
4. Para el cálculo de las pérdidas menores debe utilizarse el coeficiente de pérdidas menores multiplicado por la altura de velocidad en el sitio donde se localiza el accesorio.

### 6.5.4.1 Cálculo de las pérdidas por fricción

El cálculo de las pérdidas de energía debidas a la fricción en una tubería o conducto cilíndrico largo, con un interior de diámetro continuo, debe realizarse mediante el uso de las ecuaciones de William & Hazen, en su rango de validez, o la de Darcy – Weisbach, mostrada a continuación:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (\text{B. 6.9})$$

donde:

- f = Factor de fricción.
- L = Longitud de la tubería (m).
- D = Diámetro de la tubería (m).
- v = Velocidad media del fluido (m/s).
- g = Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ ).

Esta ecuación conforma la ecuación universal de resistencia fluida para conductos a presión para la cual deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. El coeficiente de fricción de Darcy,  $f$ , para tuberías de sección circular se obtiene utilizando las siguientes ecuaciones:

- a) Flujo Laminar (Re menor que 2000)

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (\text{B. 6.10})$$

donde:

- Re = Número de Reynolds (adimensional).
- $f$  = Factor de fricción (adimensional).

- b) Flujo Turbulento (Re mayor que 4000), desde flujo hidráulicamente liso a flujo hidráulicamente rugoso

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (\text{B. 6.11})$$

donde:

- $k_s$  = Rugosidad absoluta de la tubería (m).
- $f$  = Factor de fricción (adimensional).
- D = Diámetro de la tubería (m).
- Re = Número de Reynolds (adimensional).

Para calcular el factor de fricción de acuerdo con esta última ecuación se debe utilizar un proceso iterativo tal como el Método de Iteración de un Punto o el Método de Newton-Raphson.

2. El número de Reynolds (Re) está definido por la ecuación:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (\text{B. 6.12})$$

donde:

- $\rho$  = Densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ).
- $v$  = Velocidad media del fluido ( $\text{m/s}$ ).
- D = Diámetro de la tubería (m).

En todo caso el diseño debe evitar, para todas las condiciones normales de operación, la operación de la línea de conducción para flujos en la zona de transición ( $2000 < Re < 4000$ ).

3. En la tabla B. 6.28 se dan los valores de la densidad y la viscosidad absoluta del agua como función de la temperatura media de ésta, los cuales deben utilizarse durante el diseño de las líneas de conducción.

Tabla B. 6.28 Densidad y viscosidad del agua según la temperatura

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Densidad, $\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	Viscosidad, $\mu$ ( $\times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ )
0	999.9	1.792
5	1000.0	1.519
10	999.7	1.308
15	999.1	1.140
20	998.2	1.005
30	995.7	0.801
40	992.2	0.656
50	988.1	0.549

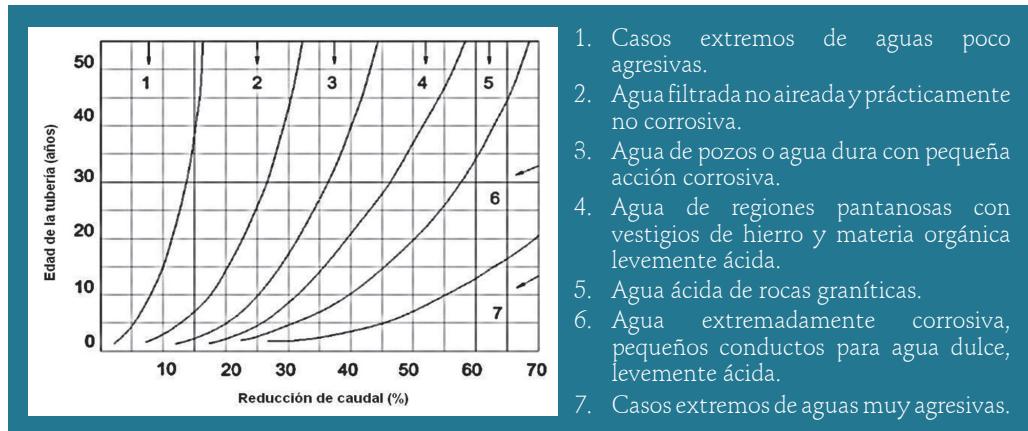
4. La rugosidad absoluta ( $k_s$ ) de las tuberías se debe evaluar tomando como guía la tabla B. 6.29, la cual corresponde a tuberías nuevas, teniendo en cuenta su relación y dependencia con los siguientes factores: el material del cual están hechas las tuberías, el proceso de fabricación de las tuberías y el tiempo de servicio de ésta, sin embargo éstos valores deberán ser corroborados con el respectivo fabricante de la tubería, el cual debe soportar los valores sugeridos mediante la certificación de los resultados de ensayos realizados a través de metodologías apropiadas para tal fin. Estos valores de rugosidad absoluta corresponden al material interno de la tubería.

Tabla B. 6.29 Valores de rugosidad absoluta

Material	Rugosidad absoluta $k_s$ (mm)
Acero comercial	0.45
CCP	0.12
Hierro dúctil	0.25
Hierro dúctil con revestimiento en mortero	0.10
GRP	0.029
Polietileno	0.007
PVC y PVCO	0.0015

5. El envejecimiento de tuberías de concreto reforzado aislado interiormente y de tuberías de materiales plásticos extruidas puede ser considerado despreciable para el proyecto de diseño de las conducciones a presión.
6. Para tuberías metálicas, cuando no sea posible una limpieza periódica interna y si estas no están protegidas internamente con materiales anticorrosivos, el caudal de diseño del proyecto debe multiplicarse por un coeficiente de seguridad calculado a partir de la Figura B. 6.1 mostrada a continuación.

Figura B. 6.1 Reducción del caudal en función de la edad de la tubería



#### 6.5.4.2 Cálculo de las pérdidas menores

Para el cálculo de las pérdidas menores producidas en curvas, tees, válvulas y otros accesorios debe utilizarse la ecuación:

$$h_m = k_m \times \frac{v^2}{2g} \quad (\text{B. 6.13})$$

donde:

$k_m$  = Coeficiente de pérdidas menores (adimensional).

$v$  = Velocidad media del fluido (m/s).

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

Se debe justificar el valor de cada coeficiente de pérdidas menores para cada uno de los accesorios, con base en la bibliografía adoptada por el consultor. A modo de ejemplo, se presenta la tabla B. 6.30 con algunos coeficientes de pérdidas menores para accesorios típicos de aducciones a presión o conducciones. El consultor debe tener en cuenta que los procesos industriales para válvulas y accesorios y las nuevas tecnologías de materiales, particularmente de los plásticos, están permitiendo fabricar accesorios con comportamientos hidráulicos que tienden a producir coeficientes de pérdidas menores cada vez más pequeños. En general, los valores adoptados por el diseñador deberán ser corroborados con el respectivo fabricante de los accesorios, el cual debe soportar los valores sugeridos mediante la certificación de los resultados de ensayos realizados a través de metodologías apropiadas para tal fin.

Tabla B. 6.30 Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes

Accesorio	$k_m$
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula de mariposa, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Codo de radio corto	0.9
Codo de radio medio	0.8
Codo de gran radio	0.6
Codo de 45°*	0.4
Te, en sentido recto	0.3
Te, a través de la salida lateral	1.8
Unión	0.3
Ye de 45°, en sentido recto	0.3
Ye de 45°, salida lateral	0.8
Entrada recta a tope	0.5
Entrada con boca acampanada	0.1
Entrada con tubo entrante	0.9
Salida	1.0

Para el caso específico de las pérdidas menores causadas por las uniones entre las tuberías que conforman la aducción o conducción deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

- La pérdida de altura piezométrica generada en tuberías a presión, que presenten salientes en las juntas de las tuberías a lo largo del perímetro de la sección, es la suma de la pérdida de altura piezométrica debida a la fricción, calculada como si no existieran las juntas indicadas, más las pérdidas menores debidas a la presencia de las juntas, las cuales se calculan por medio de la siguiente ecuación:

$$h_m = k_m \times \frac{v^2}{2g} \quad (\text{B. 6.14})$$

donde:

- $k_m$  = Coeficiente de pérdidas menores (adimensional).  
 $v$  = Velocidad media del fluido (m/s).  
 $g$  = Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ ).

Para  $I_j / D < 30$ :  $k_m = k_0 \times k_1$  (B. 6.15)

Para  $I_j / D > 30$ :  $k_m = k_1$  (B. 6.16)

La variable  $I_j$  corresponde a la distancia entre juntas, en metros, y  $D$  corresponde al diámetro interno real de la tubería, en metros.

Los coeficientes  $k_0$  y  $k_1$  deben tomarse de la tabla B. 6.31 y de la tabla B. 6.32 mostradas a continuación.

Tabla B. 6.31 Valores de  $k_0$

$I_j / D$	4	8	12	16	20	24	30
$k_0$	0.30	0.45	0.58	0.68	0.78	0.87	1.00

Tabla B. 6.32 Valores de  $k_1$

$d / D$	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	1.00
$k_1$	0.015	0.035	0.06	0.09	0.13	0.17	0.21	0.26	0.32	0.38

- Las pérdidas de altura piezométrica generadas por las uniones de tipo campana, espigo y uniones con anillo de caucho o similar pueden considerarse como despreciables, debido a que no presentan salientes hacia el interior de la tubería.

## 6.5.5 Calidad del agua en la red de conducciones

Como parte del diseño es necesario hacer los cálculos de la evolución de la calidad de agua en la red de conducciones. Para esto se debe utilizar cualquier

programa comercial de análisis de redes de acueducto que utilice el método del gradiente y que cuente con rutinas de cálculo de calidad de agua en tiempo extendido.

La modelación de la concentración de cloro residual dentro de un sistema de conducción de agua potable está basada en tres principios:

- Conservación de la masa dentro de longitudes diferenciales de la tubería.
- Mezcla completa e instantánea del agua en cada uno de los nodos de la red.
- Expresión apropiada de la cinética para el decaimiento de la concentración de cloro, su flujo a través de la tubería y los tanques que conformen el sistema.

Las ecuaciones para el análisis de la calidad de agua deben ser tales que simulen los procesos de decaimiento de la concentración de cloro residual en la red, los cuales deben permitir calcular la concentración de cloro y el tiempo de vida media del agua en cada nodo y la edad media del agua. Para el uso de estas ecuaciones se deben utilizar los coeficientes de decaimiento descritos en el literal B.6.4.4.7 de este documento. Con propósitos de cálculo puede aplicarse la siguiente ecuación unidimensional de conservación de la masa para una concentración de cloro diluida en agua con flujo a través de una tubería:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -v \frac{\partial c}{\partial x} - k_b \cdot c - \frac{k_w \cdot k_f \cdot c}{R(k_w + k_f)} \quad (\text{B. 6.17})$$

donde:

- v = Velocidad media del flujo en la tubería (m/s).  
 c = Concentración de cloro en la masa de agua (mg/L).  
 R = Radio hidráulico de la tubería (m).  
 t = Tiempo (s).  
 x = Abscisa o distancia horizontal (m).  
 $k_w$  = Coeficiente de reacción con la pared de la tubería ( $s^{-1}$ ).  
 $k_b$  = Coeficiente de reacción con el volumen de agua ( $s^{-1}$ ).  
 $k_f$  = Coeficiente de transferencia de masa (m/s).

El coeficiente de transferencia de masa ( $k_f$ ) es usado para determinar la tasa a la cual el desinfectante es transportado y se calcula por medio de la Ecuación (B. 6.18).

$$k_f = \frac{S_H \cdot d}{D} \quad (\text{B. 6.18})$$

donde:

- $S_H$  = Número de Sherwood (Adimensional).  
 D = Diámetro de la tubería (m).  
 d = Difusividad molecular del cloro en el agua ( $m^2/s$ ).

En flujo laminar completamente desarrollado ( $Re < 2300$ ), el número de Sherwood puede calcularse mediante la Ecuación (B. 6.19).

$$S_H = 3.65 + \frac{0.0668 \left( \frac{D}{L} \right) \cdot (Re) \cdot \left( \frac{\nu}{d} \right)}{1 + 0.04 \left[ \left( \frac{D}{L} \right) \cdot (Re) \cdot \left( \frac{\nu}{d} \right) \right]^{\frac{2}{3}}} \quad (B. 6.19)$$

donde:

- $Re$  = Número de Reynolds (adimensional).
- $D$  = Diámetro de la tubería (m).
- $d$  = Difusividad molecular del cloro en el agua ( $m^2/s$ ).
- $L$  = Longitud de la tubería (m).
- $\nu$  = Viscosidad cinemática del agua ( $m^2/s$ ).

Para condiciones de flujo turbulento ( $Re > 2300$ ), el número de Sherwood se calcula mediante la Ecuación (B. 6.20).

$$S_H = 0.023 Re^{0.83} \left( \frac{\nu}{d} \right)^{0.333} \quad (B. 6.20)$$

donde:

- $Re$  = Número de Reynolds (adimensional).
- $D$  = Diámetro de la tubería (m).
- $d$  = Difusividad molecular del cloro en el agua ( $m^2/s$ ).
- $L$  = Longitud de la tubería (m).
- $\nu$  = Viscosidad cinemática del agua ( $m^2/s$ ).

El proceso de mezcla de agua en los nodos debe calcularse aplicando la siguiente ecuación de continuidad:

$$C_{ij@x=0} = \frac{\sum_k Q_{kj} C_{kj@x=L}}{\sum_k Q_{kj}} \quad (B. 6.21)$$

donde:

- $C_{ij@x=0}$  = Concentración al inicio de la tubería que conecta el nodo i al nodo j (mg/L).
- $C_{kj@x=L}$  = Concentración al final de una tubería (mg/L).
- $Q_{kj}$  = Caudal desde k a i.

El proceso en los tanques de almacenamiento y/o compensación puede calcularse con las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dV_s}{dt} = \sum_k Q_{ks} - \sum_i Q_{sj} \quad (B. 6.22)$$

$$\frac{dV_s C_s}{dt} = \sum_k Q_{ks} C_{ks@x=L} - \sum_i Q_{sj} C_s + k_{ij}(C_s) \quad (B. 6.23)$$

donde:

$C_s$	= Concentración en el tanque (mg/L).
$dt$	= Cambio en el tiempo (s).
$Q_{ks}$	= Caudal desde el nodo k al s ( $m^3/s$ ).
$Q_{sj}$	= Caudal desde el nodo s al j ( $m^3/s$ ).
$dV_s$	= Cambio en el volumen del tanque ( $m^3$ ).
$V$	= Volumen del tanque ( $m^3$ ).
$C_{ks}$	= Concentración de cloro en las tuberías (mg/L).
$k_{ij}$	= Coeficiente de decaimiento entre los nodos i y j ( $s^{-1}$ ).

## 6.5.6 Diseño contra corrosión en tuberías

En general, para el caso de tuberías metálicas ninguna parte metálica del sistema debe estar en contacto directo con el agua. En el caso de tuberías de acero debe utilizarse recubrimiento interno y externo en mortero tal como se indica en el literal B.6.5.7 de este Título. En el caso de tuberías con diámetro interno real inferior a 300 mm deben utilizarse pinturas epóxicas al interior de la tubería. Para el caso de sistemas en los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, siempre que sea posible económicamente el uso de la alternativa de aceros inoxidables, esta opción debe preferirse. Para estos niveles de complejidad del sistema, las tuberías que llegan o salen de los tanques de almacenamiento y/o compensación, que lleguen hasta las válvulas y tengan diámetros internos reales inferiores a 300 mm, se recomienda que sea de acero inoxidable y soldadas, al igual que todas las estructuras metálicas internas.

Todas las protecciones contra la corrosión tanto interna como externa en las tuberías metálicas que conformen aducciones y/o conducciones en sistemas de acueducto deben cumplir con lo estipulado en las Normas AWWA, NACE, DIN, e ISO.

En el caso que los sistemas de aducción o de conducciones incluyan tuberías metálicas de diferentes metales, las tuberías deben aislar con protección catódica mediante uniones de aislamiento (tipo *Dresser*) que abracen a las tuberías por el exterior y tengan protección en las dos caras.

## 6.5.7 Recubrimientos y protección de tuberías

### 6.5.7.1 Recubrimientos externos

En caso que existan razones de carácter geotécnico, geológico, o que eventualmente las tuberías crucen zonas con un alto potencial de contaminación o de riesgo de corrosión, el diseño de las tuberías debe incluir un análisis sobre la necesidad del recubrimiento externo y la protección de las tuberías. El tipo de revestimiento externo de las tuberías deberá ser definido por el fabricante de esta, de acuerdo con el tipo de terreno en el cual se va a instalar, con el fin de garantizar la estabilidad tanto de la tubería como de los accesorios.

El diseño de los recubrimientos debe tener en cuenta todo lo establecido en el Reglamento Técnico de Tuberías, Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007 del MAVDT o las normas que las modifiquen, adicionen o sustituyan.

Para todos los niveles de complejidad del sistema, la persona prestadora del servicio público de acueducto debe aprobar los recubrimientos externos de las tuberías y sus accesorios. Las siguientes normas contenidas en la tabla B. 6.33 describen algunos recubrimientos externos para diferentes materiales de tuberías aprobados por normas internacionales y normas colombianas.

**Tabla B. 6.33 Algunas normas para recubrimientos externos para diferentes materiales de tuberías**

NORMA	NOMBRE
AWWA M9	<i>Concrete Pressure Pipe, Manual of Water Supply Practices</i>
AWWA M11	<i>Steel Water Pipe a Guide for Design and Installation, Manual of Water Supply Practices</i>
AWWA Manual M41	<i>Ductile-Iron Pipe and Fittings</i>
AWWA Manual M27	<i>External Corrosion - Introduction to Chemistry And Control</i>
AWWA C105/A 21.5	<i>Polyethylene Encasement for Ductile-Iron Pipe Systems</i>
AWWA C 205	<i>Cement-Morter Protective Lining and Coating for Steel Water Pipe – 4in (100mm) and Larger-Shop Applied</i>
AWWA C 210	<i>Liquid – Epoxy Coating Systems for the Interior and Exterior of Steel Water Pipelines</i>
DIN 30675-2	<i>External corrosion protection of buried pipes; corrosion protection systems for ductile iron pipes</i>
ISO 2531	<i>Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water or gas applications</i>
ISO 8180	<i>Ductile Iron pipelines – Polyethylene sleeping for site application</i>
ISO 8179-1	<i>Ductile iron pipes - External zinc-based coating - Part 1: Metallic zinc with finishing layer</i>
ISO 8179-2	<i>Ductile iron pipes - External zinc-based coating - Part 2: Zinc rich paint with finishing layer</i>
EN 545	Tubos, riegos y accesorios de fundición dúctil y sus uniones para canalizaciones de agua. Requisitos y métodos de ensayo
NTC 747	Tubos de concreto para presión tipo cilindro de acero con refuerzo de varilla
NTC 3818	Tubería metálica. Recubrimiento epóxico con adherencia mediante fusión para aplicación externa sobre tubería de acero
NTC 3819	Tubería metálica. Recubrimiento de polietileno para tubería metálica
NTC 4326	Tubos de acero. Recubrimiento externo con triple capa a base de polipropileno. Aplicación por extrusión.
NTC 4937 – 1	Tubería de hierro dúctil. Revestimiento exterior de zinc. Parte 1: zinc metálico con capa de acabado.
NTC 4937 – 2	Tubería de hierro dúctil. Recubrimiento exterior de zinc. Parte 2: Pintura rica en zinc con capa de acabado.

En aquellos casos en que las tuberías que queden por fuera del terreno sean de materiales plásticos que puedan ser afectados por acción de la luz ultravioleta, estas deben estar protegidas con pinturas o elementos que eviten su degradación en el largo plazo. En todos los casos el recubrimiento en pinturas debe ser definido y aplicado por el fabricante de la tubería.

### 6.5.7.2 Recubrimientos internos

El diseño de las tuberías que formen parte de una aducción a presión o de una conducción debe incluir un análisis sobre el recubrimiento interno y la protección de las tuberías, el cual debe ser previamente aprobado por la persona prestadora del servicio de acueducto. En tuberías de acero se recomienda el uso de recubrimientos internos con mortero. En el caso de tuberías con diámetros internos reales inferiores a 300 mm, se debe utilizar pintura epóxica. El diseño de los recubrimientos debe tener en cuenta todo lo establecido en el Reglamento Técnico de Tuberías, Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007 del MAVDT o las normas que las modifiquen, adicionen o sustituyan.

En la tabla B. 6.34 se muestran algunas de las protecciones internas aprobadas internacionalmente y en Colombia para la protección de las tuberías:

**Tabla B. 6.34 Algunas normas para recubrimientos internos para diferentes materiales de tuberías**

NORMA	NOMBRE
AWWA M9	<i>Concrete Pressure Pipe, Manual of Water Supply Practices</i>
AWWA M11	<i>Steel Water Pipe a Guide for Design and Installation, Manual of Water Supply Practices</i>
AWWA C104/A21.4	<i>Cement-Mortar Lining for Ductile-Iron Pipe and Fittings for Water</i>
AWWA C116/A 21.16	<i>Protective Fusion-Bonded Epoxy Coatings Int. &amp; Ext. Surf. Ductile-Iron/Gray-Iron Fittings</i>
AWWA D104	<i>Automatically Controlled, Impressed-Current Cathodic Protection for the Interior of Steel Water Tanks</i>
AWWA C205	<i>Cement-mortar Protective Lining and Coating for Steel Water Pipe – 4in. (100 mm) and Larger-Shop Applied</i>
AWWA C210	<i>Liquid-Epoxy Coating Systems for the Interior and Exterior of Steel Water Pipelines</i>
AWWA C550	<i>Protective Epoxy Interior Coatings for Valves and Hydrants</i>
NTC 4952	Tubos de hierro dúctil para líneas de tubería con o sin presión. revestimiento interior con mortero de cemento centrifugado. Requisitos generales
ISO 4179	<i>Ductile iron pipes and fittings for pressure and non-pressure pipelines - Cement mortar lining</i>
ISO 2531	<i>Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water or gas applications</i>

NORMA	NOMBRE
EN 545	Tubos, racores y accesorios de fundición dúctil y sus uniones para canalizaciones de agua. Requisitos y métodos de ensayo
NTC 2629	Tubería de Hierro dúctil. Revestimiento de Mortero-Cemento Centrifugado. Controles de Composición del Mortero Recientemente Aplicado.
NTC 4777	Recubrimientos protectores epóxicos interiores para válvulas e hidrantes.
NTC 747	Tubos de presión tipo cilindro de acero con refuerzo de varilla

## 6.5.8 Golpe de ariete en conducciones

En el dimensionamiento de las aducciones o conducciones a presión debe realizarse siempre un análisis del golpe de ariete, con el fin de verificar que en ninguna de las tuberías que conforman la red se produzcan presiones por encima de las admisibles para los materiales de las tuberías y evitar así posibles estallidos. Para todos los niveles de complejidad del sistema el análisis hidráulico de golpe de ariete es obligatorio. En este análisis se deben seguir los criterios y aspectos que se señalan a continuación.

### 6.5.8.1 Análisis del golpe de ariete

El análisis del golpe de ariete debe considerarse en los siguientes casos:

1. Proyectos de nuevas tuberías por bombeo.
2. Proyectos de nuevas tuberías por gravedad.
3. En las instalaciones existentes en las que se diseñen ampliaciones/extensiones debido a un aumento en la demanda, en las que se coloquen bombas nuevas, en las que se hagan nuevos tanques o embalses o en las que existan variaciones de presión en cualquier sección de la línea de aducción o conducción.
4. En las instalaciones existentes cuando hay cambios en las condiciones normales de operación y en las condiciones excepcionales de operación.
5. En las instalaciones existentes que van a ser incorporadas a un nuevo sistema, aún cuando no sufran modificaciones de ninguna naturaleza.

Para el estudio del golpe de ariete deben probarse diversos dispositivos de control, con el fin de seleccionar aquel que ofrezca la mayor protección posible por el mismo costo.

Los dispositivos que pueden ser considerados 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, tanques de compensación unidireccionales, almenaras, volantes, tanques hidroneumáticos y rotación en sentido inverso de las bombas centrífugas con cierre lento de válvulas.

### 6.5.8.2 Condiciones para el cálculo del golpe de ariete

El análisis del golpe de ariete en las tuberías de aducción o conducción debe hacerse para las condiciones normales de operación, deben tomarse medidas preventivas para las condiciones excepcionales de posibles emergencias o por la falta de dispositivos de protección.

Dichas condiciones para los diferentes tipos de aducción o conducción son las siguientes:

1. Condiciones normales de operación por bombeo

En las aducciones o conducciones por bombeo se consideran como condiciones normales de operación:

- El funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección y control de golpe de ariete previsto desde la etapa de diseño.
- La interrupción súbita del bombeo.
- El inicio del bombeo.
- Las maniobras de cierre o apertura de válvulas de control o de cierre existentes en la línea.
- La ocurrencia de las condiciones establecidas en el segundo ítem en todas las estaciones de bombeo de un sistema complejo.

2. Condiciones excepcionales en aducciones o conducciones por bombeo

En los sistemas por bombeo se consideran como condiciones excepcionales las siguientes:

- La falla en cualquiera de los dispositivos de protección y control del golpe de ariete.
- Las maniobras inadecuadas en las válvulas, en desacuerdo con las reglas de operación especificadas para el proyecto.
- La ruptura de la tubería en la sección de máxima presión bajo régimen de flujo permanente.
- El cierre retardado de una de las válvulas de retención de la descarga de las bombas antes o simultáneamente con la máxima velocidad de reversa, ocurrida posteriormente a la interrupción del bombeo.

3. Condiciones normales de operación en aducciones o conducciones por gravedad

Se consideran como condiciones normales de operación en flujo a presión por gravedad:

- El funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección y control contra el golpe de ariete previstos desde la etapa de diseño.
- Las maniobras de cierre y apertura de las válvulas de control y de cierre existentes en las tuberías de aducción.

4. Condiciones excepcionales en aducciones o conducciones por gravedad.

Las condiciones excepcionales en flujo a presión por gravedad son:

- La falla en cualquiera de los dispositivos de protección y control contra el golpe de ariete.
- Las maniobras inadecuadas de las válvulas, en desacuerdo con las reglas de operación especificadas en el diseño del proyecto.
- La ruptura de la tubería de aducción o conducción en la sección de máxima presión bajo un flujo permanente.

### 6.5.8.3 Presiones máximas y esfuerzos a ser absorbidos

En las tuberías a presión que incluyan los dispositivos de control enumerados en el literal B.6.7.2.7 las presiones internas máximas de trabajo en la tubería no podrán exceder los siguientes valores:

1. Para las condiciones normales de operación, las presiones internas no podrán exceder el valor de la presión de trabajo admisible para cada material y para cada clase de tuberías y de conexiones, juntas, bombas, válvulas y todos los demás accesorios presentes en la tubería.
2. En las condiciones normales y excepcionales, las presiones utilizadas para el cálculo de los empujes aplicados a las estructuras de anclaje de las tuberías, conexiones y equipos.

La presión admisible a que se refiere el presente literal es, para el caso de los materiales metálicos, la presión que produce la máxima tensión de tracción de 0.5 veces el esfuerzo de fluencia o el esfuerzo límite de resistencia de los materiales de los que están hechas las tuberías, las conexiones y los accesorios. En los demás casos, es la presión de prueba hidráulica de las tuberías, dividida por un coeficiente de seguridad no inferior a 2.5. Si las tuberías, las conexiones y demás accesorios ya tienen definidas por norma su presión y esfuerzo máximos admisibles, estos valores serán los utilizados en el presente literal.

En ningún caso la presión de prueba hidráulica podrá superar la presión dada por la Ecuación (B. 6.2).

En aquellas instalaciones que sean proyectadas sin dispositivos de control, los esfuerzos originados por el fenómeno del golpe de ariete no podrán ser absorbidos por el material del que están hechas las tuberías y las conexiones, ni por las juntas, los anclajes, los accesorios y los equipos de la instalación, a menos que se verifiquen las siguientes condiciones:

1. Las presiones internas máximas debidas al flujo no permanente sean inferiores a las presiones de servicio especificadas para cada tipo de material y clase de tubería, conexiones, accesorios, equipos y todo tipo de juntas.

2. No existen condiciones de operación excepcionales o de emergencia.
3. La presión interna máxima no excede 1.25 veces la presión de servicio en fenómenos transientes que ocurran máximo dos veces por año.

En todos los casos arriba citados deben estar justificados el costo mínimo y la seguridad con relación a los costos que se obtendrían dotando la instalación de dispositivos de control de golpe de ariete y de seguridad.

#### 6.5.8.4 Presiones mínimas

Las presiones mínimas debidas al fenómeno del golpe de ariete, que ocurran en cualquier sección en la tubería de aducción, deben ser mayores que la presión subatmosférica admisible.

En las condiciones normales de operación para cualquier tipo de tubería y de material utilizado, la presión absoluta mínima admisible está dada por la presión absoluta de vapor del agua a temperatura ambiente restada de la presión atmosférica local. En la tabla B. 6.35 se muestran los valores de la presión absoluta de vapor de agua para diferentes temperaturas.

**Tabla B. 6.35 Presión absoluta de vapor del agua**

Temperatura (*C)	Presión de vapor (kPa)
0	0.61
5	0.87
10	1.23
15	1.70
20	2.34
25	3.17
30	4.24
40	7.38
50	12.33

Para tuberías de pared delgada compuestas de materiales flexibles, tales como metales o plásticos, la presión subatmosférica mínima admisible está definida por la presión de colapso estructural del tubo, siempre y cuando su valor sea superior a la presión mínima admisible establecida en el párrafo anterior para cualquier condición de operación.

#### 6.5.8.5 Celeridad de la onda de presión

La celeridad de la onda de presión causada por el golpe de ariete es función entre otras, del módulo de elasticidad del material en el que está elaborada la tubería.

$$a = \frac{\sqrt{\frac{e}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E \times D \times (1 - \mu_p^2)}{E_p \times e_p}}} \quad (\text{B. 6.24})$$

donde:

- $a$  = Celeridad de la onda de presión (m/s).
- $E$  = Módulo de elasticidad del material de la tubería (Pa).
- $\rho$  = Densidad del agua ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $D$  = Diámetro interno real de la tubería (m).
- $\mu_p$  = Relación de Poisson de un material.
- $E_p$  = Módulo de compresibilidad del líquido (GPa).
- $e_p$  = Espesor de pared de la tubería (m).

Dada la complejidad del fenómeno del golpe de ariete, el cálculo de éste no puede quedar circunscrito a la aplicación de la fórmula anterior, sino que debe ser analizado con detenimiento en el proceso de diseño de la conducción, identificando y evaluando los diferentes errores o fallas que se puedan presentar en su operación como: cierre instantáneo de una válvula, falla eléctrica en una estación de bombeo afectando la tubería de impulsión, cierre o apertura rápida de una compuerta, cambio de dirección del flujo, etc. como se especifica en el literal B.6.5.8.2. La ecuación B.6.24 corresponde a un material isotrópico. En caso de que la conducción incluya tuberías con materiales anisotrópicos, el fabricante debe proporcionar la ecuación correspondiente para el cálculo de la celeridad.

Para calcular la celeridad de la onda de presión puede tomarse como referencia los valores indicados en tabla B. 6.36.

Tabla B. 6.36 Módulo de elasticidad para materiales de tuberías

Material	Módulo de elasticidad E (GPa)
Acero	206.8
Aluminio	72.4
Asbesto cemento	23.4
Bronce	103.4
Cobre	110.3
Concreto	$3.9 (f'c)^{1/2}$
Fibra de vidrio reforzada (axial)	8.96
Fibra de vidrio reforzada (radial)	10-33
Hierro dúctil	165.5
Polietileno corto plazo	0.9
Polietileno largo plazo	0.2
PVC	2.75

Los valores de otros materiales deben ser especificados por el fabricante. Para el caso del concreto f'c se refiere a su resistencia (en MPa).

### 6.5.8.6 Período del golpe de ariete

El período del golpe de ariete equivale al tiempo que una onda de presión necesita para recorrer toda la tubería desde el sitio del inicio de la perturbación hasta el final de la tubería y retornar al sitio inicial. El período del golpe de ariete se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{2 \times L}{a} \quad (\text{B. 6.25})$$

donde:

- $\tau$  = Período del golpe de ariete (s).
- L = Longitud de la tubería (m).
- a = Celeridad de la onda de presión (m/s).

### 6.5.8.7 Métodos de cálculo de golpe de ariete en sistemas por bombeo

En sistemas que operen por bombeo, el estudio del golpe de ariete debe ser hecho utilizando el método de las características o algún método de elementos finitos, considerando la columna de agua como elástica, siempre que ocurran las siguientes condiciones, ya sea parcial o totalmente:

1. Separación de la columna en las secciones del perfil de la tubería de cotas más elevada.
2. Longitud de la tubería inferior a 20 veces la altura piezométrica total media en la sección de salida de las bombas.
3. Velocidad media máxima en las secciones de la aducción superior a 1.0 m/s.
4. Posible falla de cierre de las válvulas a la salida de las bombas.
5. Presiones actuantes que excedan los 2/3 de la presión admisible especificada para cada clase de tuberías, conexiones y accesorios.
6. Que el tiempo para alcanzar el inicio de la reversión de la bomba sea menor que el tiempo del período de golpe de ariete.
7. Que el tiempo de cierre de la válvula de control sea menor que el período de golpe de ariete.
8. Que el tiempo de cierre de las válvulas automáticas sea menor que 20 segundos.

En las instalaciones por bombeo en las que la tubería de la succión es corta o la pérdida de altura piezométrica a lo largo de la tubería de impulsión puede ser despreciada para efecto del golpe ariete, o las bombas son centrífugas y están equipadas con válvulas de retención en las secciones de salida y/o la parada

de las bombas ocurre por una interrupción en el suministro de energía eléctrica, el cálculo del golpe de ariete puede realizarse por el método de las características, o por el método de los elementos finitos, utilizando ambos la teoría de columna elástica, o mediante el análisis del golpe de ariete por columna rígida, exceptuando lo establecido en los dos siguientes casos:

1. El cálculo del golpe de ariete no es válido si las líneas piezométricas trazadas con las cargas piezométricas mínimas obtenidas antes y después de anularse el caudal de las bombas determina presiones inferiores a las presiones atmosféricas en las secciones de tubería de impulsión donde hubiera ventosas, o inferiores a la presión de vapor del líquido a temperatura ambiente en la secciones sin ventosas; en tal caso en el cual ocurriría la separación de la columna de agua.
2. El cálculo no podrá ser utilizado para determinar si hay ocurrencia de separación de la columna de agua, lo mismo cuando en la salida de las bombas estén previstos accesorios antigolpe de ariete distintos de las válvulas de retención a no ser que sea trazada una línea piezométrica con una carga mínima obtenida antes de anular el caudal de las bombas.

#### 6.5.8.8 Métodos de cálculo del golpe de ariete en conducciones por gravedad

En las tuberías de aducción o conducción que operen por gravedad, el cálculo del golpe de ariete debe ser hecho por el método de las características o por el método de los elementos finitos, utilizando la teoría de columna elástica, siempre que las siguientes condiciones fuesen susceptibles de ocurrir parcial o totalmente:

1. Separación de la columna en las secciones del perfil de la aducción de cotas más elevadas, en caso de posibles rupturas o durante maniobra de válvulas para operaciones de emergencia.
2. Necesidad de alivio del tiempo mínimo de cierre de válvula para interrupción del flujo para las condiciones normales y las operaciones de emergencia.
3. Maniobra de válvula de control de caudal con grandes variaciones de velocidad en el tiempo.
4. Las presiones internas actuantes exceden los 2/3 de la presión admisible especificada para cada clase de tubería, conexiones y accesorios.
5. Elevación de la presión en cualquier sección de la tubería, por medios mecánicos elevadores de presión.

### 6.5.8.9 Dispositivos de control para golpe de ariete

Dentro de los estudios que se realicen para analizar el transiente hidráulico, se deben incluir los correspondientes a los diferentes dispositivos utilizados para controlar el golpe de ariete de tal forma que se pueda seleccionar la mejor alternativa técnica y económica.

Los dispositivos más comunes que pueden ser considerados para el control del golpe de ariete son: válvulas de alivio, válvulas de aire de doble efecto, almenaras de equilibrio, volantes de inercia, válvulas de retención, tanques de amortiguación en una dirección, cámaras de aire sobre presión, tanques hidroneumáticos y rotación en sentido inverso de las bombas centrífugas con cierre lento de válvulas.

Se debe tener en cuenta que los análisis de transientes hidráulicos se hacen para condiciones normales de operación y posibles condiciones de emergencia.

### 6.5.8.10 Uso de tecnologías de información

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, y como recomendación para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, se debe hacer uso de un programa de simulación hidráulica que permita prever las posibles consecuencias del golpe de ariete, en términos de las presiones producidas y el comportamiento de las bombas y otros equipos que formen parte de las conducciones.

## 6.5.9 Comprobación del diseño de las conducciones bajo diferentes condiciones de operación

Para niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, y como recomendación para los sistemas de nivel de complejidad del sistema medio y bajo, es necesario llevar a cabo un comprobación de la forma como operará la conducción o la ampliación a conducciones existentes para las condiciones de operación que se van a encontrar a lo largo de la vida útil del proyecto.

Una vez realizado el diseño, se deberá comprobar su funcionalidad bajo diferentes condiciones de operación hidráulica. Para esto se deberá utilizar cualquier programa de análisis de redes de tuberías que utilice el método del gradiente como método de cálculo, utilizando la ecuación de Williams & Hazen, en los rangos de aplicación de esta ecuación, o de Darcy-Weisbach y teniendo en cuenta que todas las tuberías deben simularse con su diámetro interno real y con el coeficiente de rugosidad absoluta correspondiente a cada material de tuberías.

El diseño debe comprobarse para los siguientes casos de operaciones hidráulicas:

1. Flujo permanente bajo las condiciones de QMD en el momento de la puesta en marcha del proyecto.
2. Flujo permanente bajo las condiciones de QMD para períodos de operación de 10, 20 y 30 años.
3. Caudal mínimo en el momento de inicio de operación del diseño.
4. Escenarios de operaciones especiales de mantenimiento. En particular se deben tener en cuenta aquellos casos en los cuales estas operaciones impliquen la salida de operación de una o varias de las líneas de conducción de la red de conducciones.
5. Escenarios de operaciones de emergencia, que impliquen la salida de operación de una o varias de las líneas de conducción de la red de conducciones.
6. Escenario de cambio en los caudales producidos por diferentes plantas de tratamiento, en aquellos municipios en los cuales exista más de una planta, en particular en el caso que una de ellas salga completamente de operación por razones de mantenimiento.
7. Diferentes escenarios de lavado de las líneas de conducción que formen parte de la red de conducciones del municipio.

En todos los casos anteriores es necesario verificar que los efectos sobre las velocidades no impliquen que en algún punto de las tuberías de la red de conducciones se duplique la velocidad de diseño o que en alguna de ellas ocurra un cambio de dirección del flujo. Esto tiene el objetivo de evitar el desprendimiento de biopelículas y/o la resuspensión de material inorgánico depositado al interior de las tuberías, con las consecuencias de deterioro de la calidad de agua en la red de conducciones y en la red de distribución de agua potable. En caso que en alguno de los escenarios se detecten tramos de la tubería de conducción en donde es imposible evitar uno de los dos efectos anteriores, se debe tener en cuenta una operación periódica de lavado de estas conducciones.

El diseño debe propender por establecer reglas de operación de la red de conducciones que eviten los problemas de desprendimiento de biopelículas y/o resuspensión del material inorgánico depositado al interior de las tuberías.

## 6.5.10 Protocolo de pruebas

Como norma general, todo diseño de una aducción y/o conducción nueva o de una ampliación a una conducción en redes de conducción existentes, el diseño debe incluir un protocolo de pruebas en el cual se especifiquen las pruebas hidráulicas que se deben llevar a cabo antes que el sistema entre en operación definitiva.

En el protocolo de pruebas se debe definir el tipo de operación hidráulica bajo la cual se deben llevar a cabo las pruebas así como el tipo y localización de

mediciones de caudal, de presiones y, en el caso de los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, de calidad de agua en puntos específicos del sistema. El diseño también debe incluir el tipo de equipos de medición requeridos, estableciendo en forma clara su rango de medición y el nivel de precisión de las medidas.

El protocolo de pruebas debe establecer la forma de simular las condiciones de campo con las cuales se debe realizar la prueba, las cuales también deben simularse en el modelo matemático de la red de conducción, con el fin de comparar los resultados medidos en campo con los arrojados con el modelo.

Con el fin que la aducción y/o conducción nueva o la ampliación a un sistema existente sea recibido por parte de la persona prestadora del servicio, la diferencia máxima admisible entre los valores del diseño y las pruebas realizadas en campo debe ser de  $\pm 5\%$ . Las pruebas establecidas en el protocolo de pruebas deben ser realizadas por el constructor del proyecto, bajo la supervisión de la persona prestadora del servicio de acueducto.

## 6.5.11 Manual de operaciones

Para todos los niveles de complejidad del sistema, el diseño debe incluir un manual de operaciones del sistema, en el cual queden especificadas las diferentes formas de operación para diferentes escenarios de uso de la conducción a lo largo de la vida útil del proyecto. En particular para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, se debe establecer la forma de operación de la red de conducciones con el fin de llevar a cabo los lavados destinados al desprendimiento de películas biológicas y los depósitos inorgánicos al interior de las tuberías. Para todos los niveles de complejidad del sistema, el manual de operaciones también debe incluir la forma de lavado, especificando los caudales y el tiempo de estos, así como el lavado de puntos muertos en la conducción o red de conducciones, en caso que estos existan.

## 6.5.12 Uso de tecnologías de información para el diseño de aducciones y conducciones

El diseño de aducciones a presión y conducciones nuevas o ampliación a conducciones existentes, y para todos los niveles de complejidad del sistema, se debe realizar utilizando un programa de modelación hidráulica de redes de acueducto que se base en el uso del método del gradiente para sus cálculos, que permita la modelación hidráulica de los sistemas en períodos extendidos y que realice el diseño utilizando rutinas de optimización.

En diseño dentro del programa de modelación hidráulica debe hacer uso de la información planimétrica y altimétrica de la zona de interés del municipio o los municipios objetos del diseño. Se recomienda que esta información provenga

del sistema de información geográfica existente en la persona prestadora del servicio. En caso que dicha información no exista, que se realicen nuevos levantamientos topográficos, o que se actualice la información existente, dicha información debe presentarse, por parte del consultor, en formatos compatibles con el sistema de información geográfica y con las bases de datos establecidas por la persona prestadora del servicio. Se debe dar preferencia a los sistemas de información definidos por empresas regionales, en caso que se trate de un municipio en el cual la persona prestadora del servicio tenga una base regional.

El diseño debe tener en cuenta la información de caudales de consumo, las proyecciones de demanda, las curvas de consumo de agua potable a lo largo del día, etc., que existan en las bases de datos de la persona prestadora del servicio. Si esta información no se encuentra disponible o se considera que está desactualizada y se realizan nuevos estudios para determinarla, el diseño debe presentar dicha información en formatos compatibles con las bases de datos definidas por la persona prestadora del servicio, dando prioridad a las definiciones regionales.

## 6.6 Otras consideraciones de diseño

### 6.6.1 Dimensionamiento estructural de las tuberías

El dimensionamiento estructural de las tuberías que conforman el diseño de la red de conducciones o una ampliación a ésta, depende del material de las tuberías y debe realizarse según lo establecido en el capítulo G.3 “Aspectos estructurales” del Título G del RAS: “Aspectos complementarios”.

En particular se deben estudiar los efectos de las cargas externas sobre las tuberías de la conducción. Para esto se deben estudiar los siguientes puntos:

- 1. Cargas externas y presiones internas.**

El diseño debe dejar perfectamente establecido cuáles son las cargas de diseño ocasionadas por los rellenos alrededor de las tuberías. Adicionalmente, el diseño debe dejar claramente establecido cuáles son las presiones internas máximas y mínimas que van a soportar las tuberías en cada punto a lo largo de la línea de conducción.

- 2. Cálculo de los efectos de las cargas externas.**

Para el cálculo de los efectos de las cargas externas sobre las tuberías de las líneas de conducción, se deben estudiar las cargas del peso del suelo sobre las tuberías flexibles, el cálculo de las deflexiones de la sección transversal en las tuberías flexibles, el cálculo de pandeo de tuberías flexibles, las cargas del peso del suelo sobre tuberías rígidas, las condiciones de instalación en zanjas para tuberías flexibles, las condiciones de instalación

- en zanja para tuberías rígidas y las condiciones de instalación en terraplenes con proyección positiva o negativa para tuberías rígidas.
- 3. Condiciones de instalación bajo rellenos con superficies inclinadas.
  - 4. Cargas de las tuberías gateadas y en condiciones de túnel.
  - 5. Cargas resultantes de procesos de instalación de tuberías utilizando tecnologías sin zanja, tales como perforaciones dirigidas, rompimiento de tuberías (Pipe bursting), etc.
  - 6. Método alterno de análisis y tuberías semirrígidas. Cuando se tienen tuberías de gran diámetro (en general, mayores que 1.2 m), deben utilizarse en el análisis los principios de la interacción suelo-estructura.
  - 7. Cargas sobre-impuestas en tuberías rígidas y flexibles. En general el diseño debe considerar las cargas sobre-impuestas ya sean concentradas o distribuidas a lo largo de la línea, tanto para las tuberías rígidas como para las tuberías flexibles.
  - 8. Capa de cimentación y relleno lateral. El diseño debe considerar los aspectos constructivos para las condiciones de instalación en zanja tanto para tuberías rígidas como para tuberías flexibles.
  - 9. Expansión y contracción térmica. Para cada uno de los tipos de tuberías a ser utilizadas en las líneas de conducción o en ampliaciones/extensiones a ésta, el diseño debe contemplar los coeficientes de expansión térmica para cada material, los aspectos especiales de las uniones de las tuberías y los esfuerzos causados por cambios en temperatura.
  - 10. Cargas y diseño sísmico. Debido a la importancia que tiene el suministro de agua potable sobre la salud y seguridad de la población, se deben prevenir y/o mitigar los daños producidos por un movimiento sísmico sobre las tuberías de la red de conducciones, y en general, sobre tuberías enterradas.  
Para realizar el análisis de riesgo sísmico sobre la red de tuberías se deben tener en cuenta cuatro (4) tipos de riesgo:
    - a) Riesgo debido a las deformaciones del suelo inducidas por un movimiento sísmico (Efecto de propagación de onda).
    - b) Riesgo debido al movimiento y/o ruptura del suelo a lo largo de una zona de falla.
    - c) Riesgo debido a la licuefacción del suelo por asentamientos o movimientos laterales.
    - d) Riesgo debido a derrumbes por el movimiento del suelo.

Se deben analizar estos efectos con el fin de utilizar materiales adecuados que resistan en gran parte las cargas sísmicas que se pueden generar, manteniendo en las tuberías un nivel de esfuerzos aceptable bajo las condiciones normales de operación de éstas.

Este análisis se puede realizar bajo dos aproximaciones: Una aproximación empírica y una aproximación analítica. La aproximación empírica está basada en la recolección de información y estadísticas respecto del comportamiento de tuberías enterradas durante diferentes eventos sísmicos. A partir de esta información se han desarrollado reglas empíricas que permiten conocer los efectos sobre tuberías de diferentes materiales debido a un movimiento telúrico.

La aproximación analítica busca determinar los esfuerzos, deformaciones y movimientos de los accesorios que hacen parte de la red de tuberías, para un evento sísmico en particular y así poder determinar si estos valores se encuentran dentro de los rangos permisibles para cada tipo de material.

El diseño debe propender por utilizar materiales en la red de conducción de agua potable, que mejor se comporten ante los diferentes tipos de cargas sísmicas que se pueden presentar.

Teniendo en cuenta todos los puntos anteriores, el diseño de tuberías para sistemas de conducción o ampliaciones/extensiones a estos, debe tener en cuenta todas las cargas externas y las presiones internas. Particularmente, se deben considerar todas las combinaciones posibles de carga y presiones internas bajo diferentes condiciones de operación, los efectos causados por estas combinaciones de carga y los efectos sísmicos o aquellos causados por cambios de temperatura en las líneas de conducción.

Con respecto a las normas técnicas nacionales NTC o las normas técnicas internacionales AWWA, ASTM, ISO, DIN, estas deben quedar establecidas desde el diseño de acuerdo con el material de las tuberías. En particular se deben tener en cuenta los siguientes casos:

- a) **Tuberías de acero:** En el caso que las líneas de conducción contemplen el uso de tuberías de acero, el diseño debe verificar su resistencia a los esfuerzos actuantes resultantes de las presiones y las cargas externas.
- b) **Tuberías de CCP:** El diseño de estas tuberías debe estar basado en el Manual AWWA M9.
- c) Tuberías de poliéster reforzado con fibra de vidrio: El diseño de líneas de conducción que utilicen tuberías de GRP debe estar basado en el Manual de Diseño AWWA M45 "Fiber Glass Pressure Pipe – A Guide for Design and Instalation".
- d) **Tuberías de hierro dúctil:** En el caso de que el diseño de la red de conducciones incluya el uso de tuberías de hierro dúctil, estas deben guiarse por las normas BS EN 545:2002 y ISO 10803:1999 de tuberías de HD Serie Métrica, HD serie pulgadas y HD recubrimientos.
- e) **Tuberías de PVC o PVCO:** El diseño de líneas de conducción donde se requiera utilizar tuberías de PVC debe estar basado en las normas NTC382 y ASTM F 1483, que incluye las especificaciones para tuberías de PVC con diámetros entre 350 mm y 1200 mm.

- f) Tuberías de Polietileno PE: El diseño de líneas de conducción donde se requiera utilizar tuberías de Polietileno (PE) debe estar basado en las normas NTC 4585, NTC 3664, NTC 3694 y la Norma AWWA C906, que incluye las especificaciones para tuberías de PE con diámetros entre 100 mm y 1575 mm.

## 6.6.2 Localización topográfica y nivelación de las tuberías de aducción y conducción

En el caso de líneas de aducción y/o conducción nuevas o ampliaciones/extensiones a sistemas existentes, el eje de las tuberías debe localizarse con equipo de precisión y estacarse al menos cada 10 m. Adicionalmente deben tomarse secciones transversales en la línea de tránsito de acuerdo con la pendiente transversal que presente el terreno. Las tuberías deben referenciarse con respecto a los ejes y a los paramentos de las vías, los cuales deben ser verificados previamente por la persona prestadora de servicio de acueducto del municipio o por la oficina de planeación del municipio.

Los levantamientos altimétricos y planimétricos deben referenciarse a los B.M. o a las placas oficiales de la persona prestadora del servicio de acueducto del municipio o de las oficinas de planeación municipal. En aquellos municipios donde no existan B.M. o placas oficiales de las oficinas de planeación municipal, los levantamientos topográficos, planimétricos y altimétricos deben referenciarse con respecto a las placas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

## 6.6.3 Análisis de interferencias

En los planos de la conducción o red de conducciones, ya sea nuevas o ampliaciones/extensiones a sistemas existentes, deben aparecer, en las secciones de la vía, la localización de las redes de acueducto, de alcantarillado, de otros servicios públicos y de otras obras de infraestructura existentes en el municipio o los municipios objeto del diseño.

Antes de iniciar la excavación de la zanja correspondiente a la instalación de las nuevas tuberías, es obligatorio localizar los alcantarillados principales y las posibles conexiones domiciliarias de alcantarillado que se vayan a intersectar con el eje de la tubería, al igual que las redes de otros servicios públicos. En el caso particular de los alcantarillados el diseño debe incluir todas las medidas necesarias para evitar la descarga de las aguas residuales en la zanja que se va a construir. Si a la zanja llegan aguas residuales, estas deben eliminarse y se debe proceder a desinfectar la excavación con cualquier sistema de descontaminación antes de iniciar la instalación de las tuberías de las conducciones o la red de conducciones.

## 6.6.4 Instalación de las tuberías

Desde la etapa de diseño deben analizarse todas las condiciones de instalación de las tuberías de las conducciones, especificando su protección cuando sea necesario. En especial deben analizarse los siguientes aspectos correspondientes a la red de conducciones de agua potable:

1. La instalación en tuberías en tramos con pendientes acentuadas, alrededor de 20° o mayores.
2. La instalación de la tubería en pasos sobre ríos, quebradas o cañadas sujetos a inundaciones o caudales que puedan causar la erosión del recubrimiento de la tubería.
3. La instalación de la tubería de conducción con cobertura de terreno menor a la especificada anteriormente para su protección, en caso de circulación de vehículos con carga que puedan causar daños a la tubería, de cualquier forma se recomienda consultar los manuales de instalación y mantenimiento de la persona prestadora del servicio para determinar las medidas de protección de las tuberías en vías de tráfico pesado o de sistemas de transporte masivo.
4. En la instalación de la tubería en áreas sujetas a inundaciones, el diseño debe evitar la posibilidad que la tubería flote, principalmente cuando por razones de mantenimiento o razones de emergencia no esté llena de agua, recomendando anclaje para evitar problemas de flotación donde sea necesario.
5. En general, la instalación de tuberías debe realizarse siguiendo lo establecido en el capítulo G.4 “Aspectos de construcción” del Título G del RAS: “Aspectos complementarios”. En particular se deben cumplir con los procedimientos de instalación y conexión de tuberías al igual que con la instalación especial de accesorios como válvulas, estructuras de disipación de energía, cámaras de quiebre de presión, estaciones reguladoras de presión, etc.

## 6.6.5 Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos

El diseño de la conducción debe contemplar las distancias mínimas que deben existir entre los tubos que la conforman y los ductos de otras redes de servicios existentes en el municipio, tal como se establece a continuación en la tabla B. 6.37.

Tabla B. 6.37 Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos

Otras redes de servicios	Distancia horizontal mínima (m)	Distancia vertical mínima (m)
Redes de alcantarillado de aguas residuales	1.5	0.3
Redes de alcantarillado de aguas lluvias	1.0	0.3
Redes de alcantarillado combinado	1.5	0.3
Redes de teléfono y energía eléctrica	1.2	0.5
Redes domiciliarias de gas	1.2	0.5

Si no es posible cumplir con estas distancias mínimas en un diseño particular, las tuberías de la conducciones o red de conducciones de agua potable, deben revestirse exteriormente con una protección a todo lo largo de la zona de interferencia. En cualquier caso las tuberías de agua potable siempre deben ir por encima de las tuberías de alcantarillado.

En caso que las tuberías de conducción objeto del diseño o de la ampliación sea metálica, el diseño debe verificar las distancias a otras redes, especialmente a las redes de gas, electricidad y telefonía, en los casos en que no se cumplan las distancias mínimas, con el fin de incluir en el diseño la protección catódica necesaria en las tuberías.

## 6.7 Accesorios y estructuras de aducciones y conducciones

### 6.7.1 Aspectos generales

En todos los casos de diseño de conducciones, ya sea en nuevas redes o en ampliaciones/extensiones, el consultor debe analizar la necesidad de uso de dispositivos de protección para la línea. Estos dispositivos tendrán el objetivo de controlar la sobrepresión y subpresión en los diferentes puntos de la red de conducciones.

Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de las tuberías, el diseño debe contemplar diversos elementos, según las necesidades de cada caso. Las válvulas que deben utilizarse en la conducción, ya sea en conducción por gravedad o por bombeo, deben responder a las diferentes necesidades del proyecto específico. En todos los casos, el consultor debe verificar que los accesorios y las estructuras complementarias colocados en la línea de conducción tengan un comportamiento adecuado con respecto a posibles problemas de cavitación. En particular debe cumplirse con la Norma Técnica AWWA C550.

Por la configuración del sistema, sin excepción, todas las bridas para accesorios y las válvulas deben ser perforadas bajo Norma AWWA /ANSI C-207, para la presión requerida.

## 6.7.2 Válvulas

### 6.7.2.1 Materiales para las válvulas

El diseño debe asegurar que los materiales con los cuales se construyan las válvulas, tanto en su cuerpo como en su mecanismo de cierre, cumplan con todas las especificaciones técnicas reconocidas tanto a nivel nacional como internacional, en función de las características del agua, tales como el grado de agresividad y otros, así como de las presiones de servicio más los factores de seguridad requeridos. Estas especificaciones para los materiales deben seguir lo establecido en las Normas Técnicas Colombianas NTC, las normas ASTM, las normas ISO o las normas DIN correspondientes para cada tipo de válvula.

Los revestimientos internos para las válvulas y sus mecanismos deben ajustarse a las Normas Técnicas Colombianas correspondientes o a la Norma AWWA C550.

### 6.7.2.2 Cajas para válvulas

En todo proyecto de diseño de una conducción nueva o de la ampliación de una conducción existente que incluya válvulas, el consultor debe especificar para cada válvula las dimensiones de las respectivas cajas u obras civiles, de tal manera que se permita el acceso para labores de operación y mantenimiento por parte del personal de la persona prestadora del servicio de acueducto.

### 6.7.2.3 Válvulas de corte o cierre

Las válvulas de corte o cierre deben localizarse al comienzo de la línea de conducción y al final de ésta si la presión es mayor que 50 m.c.a. Para todos los niveles de complejidad del sistema, se debe hacer un estudio de los transientes hidráulicos ocasionados por la operación de las válvulas en el sistema y el diseño debe incluir recomendaciones sobre su operación. En aquellos casos en que la tubería presente grandes desniveles debido a la topografía del terreno, se debe verificar que para la condición del cierre de una válvula de corte, la presión en el punto más bajo no supere la presión de diseño establecida en el literal B.6.4.4.6 de este documento.

Las válvulas de cierre o corte deben cumplir con las correspondientes normas técnicas colombianas y si estas no existen con las Normas Técnicas AWWA, ASTM, DIN, ISO, API o cualquier otra norma de reconocimiento internacional equivalente, previa aprobación del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, para el caso de los niveles de complejidad del sistema bajo y medio o de la persona prestadora del servicio para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto.

La tabla B. 6.38 mostrada a continuación establece algunas de las normas técnicas nacionales e internacionales para diferentes tipos de válvulas de corte.

**Tabla B. 6.38 Normas Técnicas para las válvulas de corte**

Tipo de válvula	Norma Técnica NTC	Otras normas
Válvulas de mariposa	NTC 2193	AWWA C504
Válvulas esféricas		ANSI B.16.10 AWWA C 507
Válvulas de flujo anular		AWWA C207 AWWA C550 ANSI B.16.34

**En caso de conflicto, prevalecerá lo establecido en las normas técnicas colombianas del presente documento**

Adicionalmente, el diseño debe evaluar la necesidad de instalar válvulas de corte intermedias a lo largo de la línea de conducción en sistemas de gravedad, en cuyo caso el consultor debe justificar su instalación, analizando los aspectos técnicos que dependen de su operación, además de cumplir con las recomendaciones de este documento. El diámetro de la válvula debe seleccionarse igual al diámetro de las tuberías de conducción y debe verificarse para evitar problemas de cavitación en el caso de que se tengan flujos con altas velocidades.

#### 6.7.2.4 Válvulas de ventosa

En los puntos altos de la línea de conducción deben colocarse ventosas con el fin de facilitar la salida del aire que eventualmente se acumula en la conducción durante su funcionamiento o cuando se procede a su llenado o vaciado. De igual forma, cuando la tubería tenga una pendiente constante se debe colocar una válvula ventosa cada 300 m. Dichos dispositivos deben permitir también la entrada automática de aire durante las operaciones de descarga de la tubería o cuando el caudal de agua se disminuya por causa de una rotura, de maniobras o de paradas en el flujo de la tubería.

El diseño debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Podrá utilizarse una ventosa única para atender la entrada y la salida de aire, siempre y cuando dicho dispositivo sea capaz de atender ambas funciones.
2. Preferiblemente las válvulas de ventosa deben ser bridadas según las especificaciones de la norma AWWA y con cuerpo fundido en hierro dúctil. Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio se pueden utilizar válvulas de ventosa roscada; para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, el uso de las válvulas de ventosa roscada deberá contar con la aprobación previa de la persona prestadora del servicio de acueducto.

3. Cuando en la conducción se encuentre una válvula de línea, debe existir una ventosa aguas arriba o aguas abajo, dependiendo de la pendiente para la aireación durante el llenado y descarga de ésta.
4. Las ventosas tendrán los siguientes diámetros mínimos:
  - Para tuberías con diámetro interno real menor o igual que 100 mm, el diámetro mínimo será de 50 mm.
  - Para tuberías con diámetro interno real mayor que 100 mm, el diámetro mínimo de las ventosas será de 75 mm.
  - En caso de que el diseño hidráulico incluya ventosas con diámetros inferiores a los antes establecidos, éste deberá ser aprobado por la persona prestadora del servicio.
5. El diseño del diámetro y ubicación de las válvulas de ventosa debe realizarse de forma integrada con el de las válvulas de purga.
6. Toda válvula de ventosa debe poder aislarse de la tubería principal por medio de una válvula de corte.
7. Cada ventosa debe estar protegida por una cámara de inspección accesible, con su respectivo drenaje de aguas y los respiraderos necesarios para garantizar el flujo de aire y estar completamente asegurada.
8. Los dispositivos de entrada de aire deben localizarse de tal modo que no se introduzca agua extraña al sistema. Los dispositivos previstos deben instalarse de tal manera que sus aperturas se sitúen por lo menos un metro (1.0 m) por encima del nivel máximo de agua que pudiera acumularse en el sitio de la ventosa.
9. Deben disponerse puntos intermedios para la entrada de aire en la tubería cuando la línea piezométrica correspondiente a la carga de un tramo del 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 posible colapso de la tubería por aplastamiento.
10. Como dispositivos automáticos para la entrada o salida de aire de las líneas de conducción pueden utilizarse los siguientes:
  - Ventosas de doble efecto para la descarga del aire acumulado durante el llenado y durante la operación normal de la conducción y para la entrada en las operaciones de descarga de agua.
  - Tubos verticales o chimeneas cuando su extremidad superior pueda situarse por encima de línea piezométrica máxima para la entrada de aire.
11. En el caso que exista una válvula intermedia en la conducción, ésta debe estar dotada de un paso lateral (by pass) de tal manera que permita el flujo de aire hacia la ventosa. Este paso lateral debe estar dotado de su propia válvula de corte y se debe utilizar cuando:

- La válvula intermedia se localice en tramos descendientes de la tubería y su apertura no pueda realizarse sin causar perjuicios a la estructura.
  - La válvula intermedia sea del tipo compuerta y la presión en el punto en que estuviese instalada cause un empuje superior a 20 KN.
12. Las válvulas de ventosa deben cumplir con normas técnicas nacionales e internacionales, tales como la Norma Técnica Colombiana correspondiente, la Norma AWWA C512, fabricadas bajo normas internacionales, de reconocimiento internacional, que le aplique y, demostrarlo mediante certificado de producto.
13. La localización de las válvulas de ventosa a lo largo de la conducción y su dimensionamiento debe considerar los requerimientos de evacuación de aire presentados durante las operaciones de llenado de las tuberías que conformen la conducción o la red de conducciones, analizando la posibilidad de bloqueo del flujo.

### 6.7.2.5 Válvulas de purga o desagüe

En los puntos bajos de la tubería de conducción o cada 350 m, deben colocarse válvulas de desagüe o de limpieza. En estos casos deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La descarga debe permitir la eliminación total del agua contenida en la tubería de conducción.
2. Se recomienda que el diámetro de la tubería de desagüe esté entre 1/3 y 1/4 del diámetro de la tubería principal, con un mínimo de 100 mm para tuberías mayores que 100 mm. Para diámetros menores debe adoptarse el mismo diámetro de la tubería principal.
3. El diseño de las válvulas de purga debe realizarse de forma integrada con el de las válvulas de ventosa.
4. Cada válvula debe estar protegida con una cámara de inspección accesible con su respectivo drenaje. Se debe seguir lo establecido en el literal B.6.7.2.2 de este documento.
5. Si la velocidad de salida de la válvula de purga es mayor que 3 m/s, debe colocarse una estructura de disipación de energía.
6. Si la velocidad de salida de la válvula de purga es mayor que 3 m/s, debe hacerse un estudio de cavitación.
7. El dimensionamiento de la descarga debe realizarse teniendo en cuenta los siguientes puntos:
  - a) La obtención de una velocidad mínima que sea compatible con la remoción del material sedimentado y las biopelículas en el interior de la tubería, durante por lo menos el primer minuto de descarga.

- b) Que el tiempo máximo para descarga sea impuesto por las condiciones de operación.
- c) El caudal máximo permitido por el sistema de recepción del agua descargada.

### 6.7.2.6 Válvulas de cheque

En el caso que la línea de aducción o de conducción corresponda a la línea de impulsión de un bombeo, el diseño debe contemplar el uso de válvulas de cheque o retención con el fin de evitar el retroceso del agua, con el consiguiente vaciado del conducto y sus posibles daños en las bombas o aplastamiento de la tubería.

Las válvulas de cheque sencillas o de doble acción deben cumplir con lo establecido en las Normas Técnicas Colombianas correspondientes o en su defecto con las Normas AWWA, C508, AWWA C515, o cualquier otra norma de reconocimiento internacional equivalente. El uso de las válvulas de cheque en el diseño deberá contar con la aprobación previa de la persona prestadora del servicio.

En el caso que las válvulas de cheque estén fabricadas utilizando aleaciones de cobre, estas deben cumplir con la Norma Técnica Colombiana NTC 1762.

### 6.7.2.7 Válvulas de protección contra golpe de ariete

Este tipo de válvulas deben instalarse en tuberías de aducción por bombeo, sometidas a riesgos de sobrepresiones por golpe de ariete, sobre la línea de impulsión, con el fin de proteger las bombas y las tuberías correspondientes. Podrán utilizarse válvulas de alivio de presión, caso en el cual, éstas deben estar especificadas según normas técnicas nacionales o internacionales, de reconocimiento internacional, tales como la NTC correspondiente, la Norma AWWA C 506, o normas ISO y EN.

### 6.7.2.8 Válvulas de flujo o paso anular

Las válvulas de flujo o paso anular se utilizan para la regulación de caudales y pueden tener o no regulación de presión. Las válvulas con regulación de presión cuentan con dispositivos para reducir la presión a la entrada de los tanques de almacenamiento y/o compensación. Las válvulas sin regulación de presión no tienen ese tipo de dispositivos y son utilizadas en puntos intermedios de las conducciones o en entradas a tanques con presiones bajas, siempre y cuando el flujo sea unidireccional. Estas válvulas deben tener un obturador interior en forma de émbolo que se mueva axial y perpendicularmente al asiento, para dejar un paso anular al agua en cualquier posición. El diseño del sistema obturador debe ser tal que pueda desplazarse el émbolo sin problemas ante una posible incrustación de sólidos en el órgano disipador.

### 6.7.2.9 Válvulas de cono o chorro hueco

Para el caso de las estructuras de descarga de las líneas de conducción, con el objeto de vaciar la tubería o producir las velocidades necesarias para el desprendimiento de biopelículas o de depósitos inorgánicos al interior de la tubería en operaciones de lavado, el diseño debe contemplar la instalación de válvulas de cono o chorro hueco acompañadas de sus correspondientes estructuras de disipación de energía y canales de descarga a los cuerpos receptores.

Este tipo de válvulas son generalmente usadas para descargar el agua de forma superficial a los canales y/o cuerpos receptores. Sin embargo, pueden ser instaladas bajo tierra cuando el nivel de agua, en la zona aguas abajo, se encuentre por encima del nivel de instalación de la válvula. En este caso se debe tener una estructura de disipación para airear el flujo y evitar inestabilidades hidráulicas. Para determinar el tamaño de las válvulas se deben tener en cuenta dos factores: el caudal máximo de descarga y la mínima altura disponible en la entrada de la válvula.

En caso que las válvulas de cono o chorro hueco tengan la posibilidad de descargar en forma sumergida, bajo cualquier condición de operación, el diseño debe tener en cuenta la posibilidad de ocurrencia de cavitación y, por consiguiente, debe plantear las medidas de protección necesarias.

## 6.7.3 Estructuras de acceso e inspección

### 6.7.3.1 Bocas de acceso

En caso que la aducción o la conducción tenga un diámetro igual o superior a 900 mm deben colocarse bocas de acceso con un diámetro mínimo de 0.6 m. Las bocas de acceso deben localizarse preferiblemente junto a válvulas de maniobra, a válvulas de purga o cruces bajo interferencias en las cuales no sea aconsejable instalar válvulas de purga.

El espaciamiento máximo de las bocas de acceso debe ser el siguiente:

1. 500 m para tuberías de concreto independientemente del diámetro de la línea.
2. 500 m para tuberías de acero con diámetro igual o mayor que 1.5 m.
3. 1000 m para tuberías de acero con diámetro entre 900 mm y 1.5 m. En las tuberías de acero deben instalarse bocas de acceso junto a todas las válvulas de maniobra, y de derivaciones de agua cruda en aducciones.
4. Para otro tipo de materiales deben colocarse bocas de acceso cada 500 m, independientemente del diámetro de la aducción a presión.

Las bocas de acceso deben tener las especificaciones contenidas en la NTC correspondiente.

### 6.7.3.2 Bocas de inspección

Para tuberías con diámetros nominales mayores o iguales a 400 mm y menores que 900 mm, se deben dejar bocas de inspección para la introducción de cámaras de circuito cerrado de televisión, CCTV, con propósitos de inspeccionar el estado interno de las tuberías. El diámetro de la boca de entrada debe ser igual al diámetro de la tubería, con un máximo de 500 mm.

## 6.7.4 Accesorios menores

### 6.7.4.1 Uniones de montaje

El diseño debe prever juntas de montaje en todos los sitios donde haya necesidad de mantenimiento o reemplazo de algún equipo, como en el caso de válvulas de corte o válvulas especiales.

Para tuberías de acero deben preverse uniones escualizables de tres cuerpos de acuerdo con la Norma AWWA C606, o brida rígida cuando se puedan presentar desplazamientos axiales en ambos sentidos de los accesorios o el espacio sea muy pequeño.

Para tuberías con superficie externa irregular o porosa, tales como las tuberías de concreto, deben colocarse extremidades en tubos de acero al carbono, compatible con las normas de cada material de tubería, para la instalación de uniones de montaje que, por lo general, también deben ser de tres cuerpos.

### 6.7.4.2 Juntas de expansión

Deben preverse juntas de expansión en los pasos aéreos ejecutados con tuberías de acero con uniones soldadas en las cuales el dimensionamiento indique su necesidad, con el fin de absorber las dilataciones o contracciones debidas a las variaciones térmicas y de deflexión de las estructuras.

Estas juntas deben ser similares a las establecidas en la Norma AWWA C220 y deben cumplir con los requerimientos técnicos allí establecidos. En todo caso, el diseño de juntas debe realizarse según lo establecido en el capítulo G.3 del RAS.

### 6.7.4.3 Juntas sismorresistentes

En zonas de amenaza sísmica alta, las juntas que se utilicen en las tuberías deben absorber las deformaciones que puedan producirse en la ocurrencia del mayor sismo, el cual se obtiene según las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente: Ley 400/97 y Decreto 33/98 o aquellas que las modifiquen, adicionen o sustituyan.

### 6.7.4.4 Codos, tees, reducciones y otros accesorios en conducciones

Para las tuberías con juntas elásticas, estos accesorios deben ser prefabricados por el productor de la tubería o en su defecto, el diseño debe asegurar

que en el mercado existan otros materiales que permitan su instalación con adaptadores teniendo en cuenta todas las normas nacionales e internacionales vigentes, algunas de las cuales se muestran en la tabla B. 6.39.

En el caso de deflexiones pequeñas o curvas con radio de curvatura grande, el diseño puede utilizar las deflexiones admisibles en las juntas tipo espigo campana, hasta conformar la curva deseada.

**Tabla B. 6.39 Algunas Normas Técnicas de los accesorios según el material**

Material	Normas Técnicas Colombianas	Otras normas
Acero <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bridas</li> <li>• Uniones</li> <li>• Acoplamientos con manga</li> <li>• Uniones campana/espigo</li> <li>• Uniones soldadas en campo</li> </ul>		AWWA C 207 - ASTM A 961 AWWA C 606 AWWA C 219 - ASTM F 682 AWWA C 111 AWWA C 206 - ASTM A 865
Hierro dúctil <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revestimiento mortero centri-fugado</li> <li>• Uniones</li> <li>• Uniones campana-espigo</li> <li>• Bridas</li> </ul>	NTC 2629 NTC 2587 NTC 2587	AWWA C 104 AWWA C 110 - C153 AWWA C 111 AWWA C 115 ISO 2531 ISO 2230 ISO 4633 EN 545
CCP	NTC 1328	AWWA C 300 C 301 C 302 -C 303 y C 304 ASTM C 822
PVC y PVCO <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uniones mecánicas</li> <li>• Empaques de caucho</li> <li>• Accesorios soldados o roscados</li> </ul>	NTC 2295 NTC 2536 NTC 1339	ASTM D 3139 ASTM F 477 ASTM D 2466
Polietileno	NTC 2935 NTC 3410 NTC 3409 NTC 4843	ASTM D 2609 ASTM D 2683 ASTM D 3261 ISO 4427-3
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	NTC 3877	ASTM D 3567 ASTM D 4161

Para el caso de las tuberías de acero soldado, las piezas especiales y los accesorios deben diseñarse y fabricarse de acuerdo con las normas y recomendaciones contenidas en la Norma AWWA C208. En el caso de tuberías de hierro dúctil, las bridas utilizadas deben regirse por normas AWWA o ISO. En el caso particular de curvas de deflexión inferiores a 8 grados, las curvas pueden generarse en campo a través del corte oblicuo de las tuberías.

## 6.7.5 Estructuras para el control de presiones

### 6.7.5.1 Cámaras de quiebre

Estas cámaras tienen por objeto reducir la presión aguas abajo de las mismas hasta el valor de la presión atmosférica, con el fin de limitar las presiones en las instalaciones localizadas aguas abajo. Deben instalarse este tipo de cámaras cuando se haya seleccionado como alternativa óptima una tubería de baja presión, acompañada por este tipo de elementos.

Como opción se permite la eliminación de las cámaras de quiebre, manteniendo siempre la tubería adecuada para soportar las presiones máximas más los factores de seguridad mencionados anteriormente a lo largo de toda la tubería.

### 6.7.5.2 Estaciones reguladoras de presión

Con el fin de reducir la presión hasta un valor menor y establecer un nuevo nivel estático, el diseño debe contemplar la instalación de estaciones reguladoras de presión. Estas estaciones son usadas a la llegada de las conducciones a los tanques de almacenamiento y/o compensación.

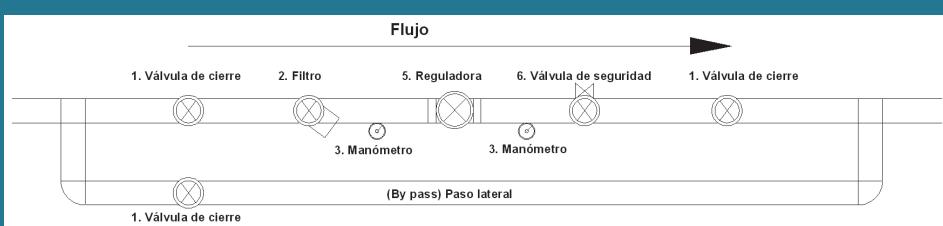
Las estaciones reguladoras de presión deben estar basadas en el uso de válvulas de flujo o paso anular con regulación, válvulas ventosas, válvulas de corte, filtros, unión de desmontaje y by pass o el uso de cámaras de quiebre de presión que alcancen a igualar la presión de la conducción a la presión atmosférica correspondiente.

Las válvulas de flujo o paso anular con regulación permiten producir una pérdida de energía predeterminada con el fin de controlar la presión, manteniéndola constante independientemente del caudal que pase a través de ellas. Las estaciones reguladoras de presión deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. Las estaciones reguladoras de presión deben tener bifurcaciones en la línea de conducción que permitan tener dos trenes paralelos de regulación de presión, con sus correspondientes válvulas de corte, filtros, manómetros, etc. con el fin de facilitar el funcionamiento e instalación en caso de daño y/o mantenimiento de uno de ellos. En aquellos casos de las personas prestadoras del servicio de los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, la cámara podrá construirse sin la bifurcación; en estos casos, cuando sea necesario desmontar la válvula por razones de mantenimiento la persona prestadora del servicio debe contar con el niple que la reemplace temporalmente.
2. Las estaciones reguladoras de presión deben localizarse en cámaras que tengan un acceso adecuado para labores de montaje, operación y mantenimiento. En caso de válvulas muy grandes, el techo de la cámara puede estar conformado de forma tal que para labores de reemplazo de las válvulas, éste pueda ser removido.

3. Se recomienda que las cámaras para las válvulas que están en la línea de la conducción, tengan techos desmontables en concreto reforzado u otros materiales que resistan las cargas a las que se encuentran sometidos. Así mismo, estas cámaras deben contar con un mecanismo de seguridad y un diseño que permita su fácil acceso.
4. La disposición de elementos en una estación reguladora de presión debe seguir, como mínimo, lo mostrado en la Figura B. 6.2. Este esquema se recomienda para diseños de estaciones reguladoras de presión para tuberías hasta 300 mm de diámetro. Para diámetros mayores se puede hacer un diseño especial, con la aprobación previa de la persona prestadora del servicio.

Figura B. 6.2 Esquema general de la estación reguladora



5. En la definición de las dimensiones de las cajas de las estaciones reguladoras de presión debe considerarse un espacio que permita el acceso y libertad de movimiento para la instalación, operación y remoción de válvulas y accesorios, así como manipular libremente cualquier herramienta de trabajo.

## 6.7.6 Anclajes

En las líneas de aducción o de conducción el diseño debe prever los anclajes de seguridad necesarios, ya sea en concreto (simple, reforzado o ciclópeo) o metálicos de tal forma que se garantice la inmovilidad de la tubería en los siguientes casos:

1. En tuberías expuestas a la intemperie, que requieran estar apoyadas en soporte, o unidas a formaciones naturales de la roca (mediante anclajes metálicos).
2. En los cambios de dirección, tanto horizontal como vertical, de tramos enterrados o expuestos, siempre que el cálculo estructural de la tubería lo justifique.
3. En puntos de cambio de diámetro de la tubería o en dispositivos para el cierre o la reducción de flujo en tuberías discontinuas.
4. Debido a que las conducciones deben ir por zonas públicas, el cálculo del tamaño de los anclajes por empujes laterales o verticales debe tener en cuenta que parte de los empujes será

absorbido por la fricción de la tubería contra el suelo. Para ello se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- a) En tuberías metálicas, los codos deben ser rigidizados con las piezas anteriores y posteriores mediante soldaduras en campo, bridas o uniones acerojadas, cuando sea necesario. Las piezas anteriores y posteriores deben tener una longitud mínima de 4m.
  - b) En tuberías de CCP y otras, los codos deberán tener uniones rigidizadas por soldadura con las piezas rectas anteriores y posteriores, cuando sea necesario. En tuberías de acero y CCP, los empujes por cambios de dirección, ampliaciones, reducciones, válvulas, tapones pueden ser equilibrados por la fricción suelo tubo, rigidizando una longitud calculada de tubería.
5. Ningún accesorio debe quedar totalmente encapsulado dentro de un anclaje.

Para el cálculo de las fuerzas hidrodinámicas que deben soportar los anclajes, el diseño debe hacer uso de la ecuación de conservación del momentum lineal bajo flujo permanente con el caudal máximo bajo condiciones normales o condiciones especiales de operación, ambos correspondientes al final de periodo de diseño, o bajo condiciones de golpe de ariete. Una vez obtenida la fuerza hidrodinámica, el diseño de los anclajes se debe llevar a cabo teniendo en cuenta lo establecido en el Título G del RAS: "Aspectos complementarios".

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, en aquellos casos en los cuales no es posible el uso de anclaje en tuberías de acero, se recomienda el uso de soldadura; en el caso que en las tuberías de aducción o conducción se haga uso de tuberías de otros metales, se recomienda el uso de bridas con su correspondiente protección. Para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo el diseño puede hacer uso de anclajes secos.

## 6.7.7 Estructuras especiales para protección de tuberías

Cuando la línea de la aducción o conducción a presión cruce carreteras, vías férreas, ríos u otros obstáculos naturales deben proyectarse estructuras especiales que garanticen la seguridad de la misma, siendo concebidas para absorber las cargas y otros esfuerzos resultantes de la colocación de la tubería. Estas estructuras podrán ser metálicas, de madera, de concreto o de otros materiales y conformar puentes, pasos colgantes y túneles.

Las estructuras especiales deben cumplir con los siguientes requisitos:

En el paso de la tubería de aducción por el fondo de un valle u otras zonas por las cuales pueda ocurrir el tránsito de una creciente, estando el conducto elevado, debe dejarse una sección libre suficiente para permitir el paso

del caudal máximo correspondiente a una tormenta con un período de retorno de 20 años como mínimo, y deben preverse los apoyos protegidos contra posibles erosiones locales.

1. 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 se garantice la durabilidad, permanencia y buen funcionamiento de las obras.

En algunos casos especiales, la tubería de aducción o conducción o tramos de ésta requerirán de protecciones especiales. Estas protecciones deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. Cuando se requiera la instalación de la aducción o conducción al interior de un conducto mayor cuyo objetivo es proteger la tubería principal contra acciones exteriores o destinado a proteger la franja atravesada contra ruptura de la tubería, el conducto mayor debe tener una sección suficiente para permitir la realización de trabajos de mantenimiento de la tubería colocada en su interior. El conjunto debe permitir el retiro del ducto instalado al interior de la tubería de protección sin que sea necesario hacer 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 atraviesen zonas locales donde puedan estar sujetos a averías de cualquier naturaleza, provocada por agentes reales o potenciales.

## 6.7.8 Estructuras de medición

### 6.7.8.1 Salidas para mediciones

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio, el diseño debe contemplar los sitios de salida para mediciones piezométricas y de caudal, los cuales deben ser para uso permanente, mediante el uso de data loggers y/o telemetría o para uso intermitente. El diseño debe contemplar salidas para medición por lo menos al comienzo y al final de las líneas de conducción y/o aducción y en intervalos de máximo 1500 m cuando la longitud de la tubería sea mayor que 2000 m, y antes y después de las válvulas. Así mismo, este tipo de salidas de medición deben colocarse después de cada derivación de la conducción. El diámetro interno real de la salida debe ser 50 mm y siempre debe colocarse una válvula esférica o de globo y su correspondiente tapón roscado. En el caso que las salidas de medición correspondan a accesorios importantes en la línea de

aducción o de conducción, las salidas para medición deben colocarse al menos a dos diámetros de distancia al respectivo accesorio.

### 6.7.8.2 Dispositivos de medición de caudal

La medición del caudal en las aducciones y conducciones es de vital importancia operativa, además sirve para la evaluación y el control de las pérdidas técnicas y el desperdicio de agua entre otros factores.

Existen diversos dispositivos para la medición de caudal en tuberías a presión, los más antiguos están basados en técnicas de medición que extraen energía del fluido mediante un estrangulamiento, un cuerpo sólido o un rotor; las técnicas más modernas añaden energía al flujo ya sea en forma de flujo magnético (caudalímetro magnético) o de ondas sonoras (caudalímetro de ultrasonido).

Para la medición de caudal en canales y tuberías parcialmente llenas empleadas en aducciones, pueden utilizarse diversas técnicas entre las que se destacan las estructuras que producen una sección de control hidráulica, dentro de este tipo de estructuras se encuentran los vertederos de cresta delgada o ancha y las canaletas Venturi y Parshall. Otros métodos empleados son el de caudal diferencial (aforos), los trazadores y los dispositivos electromagnéticos o ultrasónicos.

La selección del equipo o estructura de medición debe tener en cuenta por lo menos los siguientes factores:

- Capacidad económica de la población.
- Requisitos de precisión de la medición.
- Rango de caudales esperado o requerido.
- Presión de operación.
- Calidad del agua.
- Restricciones de ubicación del equipo.
- Accesibilidad para mantenimiento y calibración del equipo.
- Compatibilidad con sistemas SCADA (en los casos en que es requerido).

### 6.7.8.3 Macromedición en aducciones y conducciones

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, es obligatorio el uso de macromedidores de caudal y de niveles y/o presiones a la salida de los tanques de almacenamiento en aquellos sistemas que cuenten con este tipo de estructuras; para aquellos casos en que no se cuente con tanques de almacenamiento, se recomienda ubicar los elementos de macromedición en aquellos puntos en los que existan bifurcaciones en las conducciones y en todos los puntos de entrada a los subsectores que hagan parte del sistema de sectorización del servicio de acueducto en el municipio.

Para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, las mediciones de caudal y de presión se deben hacer a la salida de los tanques y a la salida de la planta de tratamiento de agua potable.

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, y como recomendación para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, los macromedidores deben ser de tipo electromagnético. Además, el diseño debe garantizar que los sistemas de macromedición solicitados cumplan con las siguientes normas: NTC 1063-1, ISO 4064, AWWA C 701, AWWA C700, AWWA C708, AWWA C710, AWWA C704, o cualquier otro tipo de normas nacionales o internacionales equivalentes, con previa aprobación de la persona prestadora del servicio de acueducto.

Para la instalación de los macromedidores en la red de conducciones, el diseño debe tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. Los puntos de medición de caudal deben estar aguas abajo de la salida de los tanques. En estos casos se requiere la transmisión de datos medidos vía telemétrica.
2. Los puntos de medición de apertura de válvulas deben estar aguas arriba de la entrada de los tanques. En estos casos se requiere la transmisión de datos medidos en los macromedidores vía telemétrica, para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto.
3. Los puntos de medición de las líneas de impulsión deben estar en la descarga del bombeo.
4. Los macromedidores deben tener estructuras adecuadas para su instalación. Estas estructuras son:
  - a) Conos de reducción y expansión para obtener velocidades adecuadas en el punto de medición, las cuales deben ser mayores que 0.5 m/s con el caudal mínimo nocturno en condiciones iniciales, lo cual repercute para tener una mayor exactitud en el punto de medida. Estos conos deben tener ángulos de inclinación menores que 8°, con el fin de no afectar el perfil de velocidades y mantener las pérdidas menores bajas.
  - b) Sección de verificación, para la comprobación del estado del medidor electromagnético, utilizando medidores de flujo ultrasónicos portátiles (con configuración de mínimo dos planos de medida) o con varilla electromagnética, durante el tiempo que se considere necesario.
  - c) Instalación de válvulas de cierre aguas abajo del medidor para que sea posible verificar el cero del equipo.
  - d) Instalación de tomas para el análisis de agua en un sitio definido, que no altere la medición del caudal.

## 6.7.9 Estructuras para el lavado de las conducciones

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, el diseño de conducciones nuevas o el diseño de ampliaciones/extensiones a conducciones existentes debe incluir las operaciones de lavado con el fin de garantizar el desprendimiento de películas biológicas y depósitos inorgánicos de cualquier naturaleza localizados al interior de las tuberías. El diseño debe incluir todos los accesorios de control necesarios, tales como válvulas de cono hueco, válvulas de purga o desagüe, con su correspondientes estructuras de disipación de energía y los canales de entrega de las aguas de lavado al sistema de desagüe urbano del municipio o los municipios objeto del diseño. Esto se recomienda para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo.

### 6.7.9.1 Estructuras de disipación de energía

En el caso de las operaciones de lavado de la conducción objeto del diseño o la ampliación en redes de conducciones existentes, se generan velocidades altas en las válvulas utilizadas para las operaciones de lavado. Por consiguiente, es necesario que a la salida de éstas y en caso que se necesite, diseñar una estructura de disipación de energía de tal forma que la entrega de los caudales de lavado a los canales de drenaje natural del municipio o los municipios objeto del diseño se haga con niveles de energía que no implique socavación local en algunos puntos o erosión generalizada en cuerpos de agua naturales, que puedan poner en peligro todo tipo de infraestructura existente alrededor de los canales, incluyendo la válvula de lavado en sí.

Las estructuras de disipación de energía buscan reducir la velocidad, pasando de flujo supercrítico a subcrítico. El aumento de la velocidad puede presentarse en estructuras de caída, descargas de fondo, etc. Las estructuras más comunes de disipación de energía son las estructuras de caída libre y los canales escalonados, aunque se pueden utilizar otros sistemas de disipación.

#### 6.7.9.1.1 Estructuras de caída libre y resalto hidráulico

Las estructuras de caída libre, son las estructuras más viables económicamente para estructuras de baja altura piezométrica. La disipación de energía es producida por el impacto de la lámina de agua y por el resalto hidráulico. Su funcionamiento está basado en el cambio súbito de la aceleración de flujo y normalmente son utilizadas cuando se tiene un flujo subcrítico aguas arriba de la estructura.

En este caso, debido a la distribución de presiones en el borde de la caída, la profundidad crítica se encuentra a una distancia horizontal igual que 3 ó 4 veces la profundidad crítica, aguas arriba del borde de caída. La profundidad

en el borde es igual que 0.715 veces la profundidad crítica para un canal ancho de pendiente cercana a la horizontal. La profundidad crítica para un canal rectangular y para canales trapeciales anchos, está dada por la siguiente ecuación:

$$y_c = \sqrt{\frac{Q^2}{gB^2}} \quad (\text{B. 6.26})$$

donde:

$y_c$  = Profundidad crítica (m).

$Q$  = Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

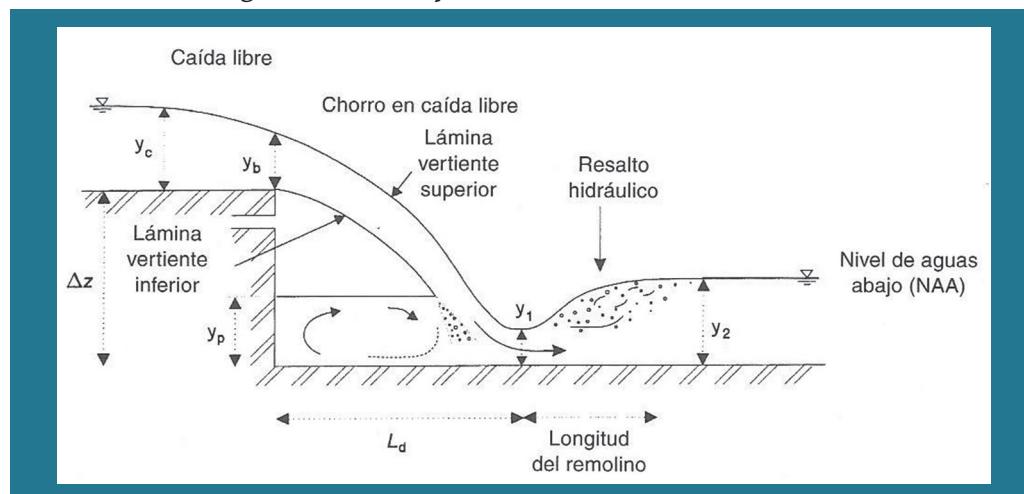
$g$  = Aceleración de la gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ ).

$B$  = Ancho del canal (m).

En los criterios de diseño se deben tener en cuenta aspectos como la cota de la cresta, el caudal de descarga, el ancho de la cresta, la cota del canal de drenaje o cuerpo receptor ( $z_{\text{cresta}} - \Delta z$ ), la longitud de caída y la posible socavación en el sitio de impacto del agua.

Este tipo de estructuras se pueden utilizar para caídas hasta de 7 m, para caudales de hasta  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  y para un extenso rango de profundidades de agua. El consultor debe tener en cuenta la protección de los materiales en los puntos donde ocurre la disipación de energía.

Figura B. 6.3 Esquema de estructura de caída<sup>3</sup>



Para calcular la estructura de caída se debe seguir el siguiente procedimiento, de acuerdo con lo establecido en la Figura B. 6.3:

1. Seleccionar la altura de la cresta de la estructura de caída ( $z_{\text{cresta}}$ ), para lo cual se debe tener en cuenta la topografía y el nivel de almacenamiento del cuerpo receptor.
2. Determinar el caudal de diseño.
3. Escoger el ancho de cresta  $B$ .
4. Calcular la profundidad crítica, de acuerdo con la ecuación (B. 6.26).

<sup>3</sup> Tomado de "Hidráulica del Flujo en Canales Abiertos"; Hubert Chanson; 1999.

5. Determinar el nivel de fondo del canal o cuerpo receptor, igual a  $z_{\text{cresta}} - \Delta z$ .
6. Para el caudal de diseño, calcular la longitud de caída y las características del impacto de la caída, de acuerdo con las siguientes ecuaciones.

$$\frac{L_d}{\Delta z} = 4.30 \times \left( \frac{y_c}{\Delta z} \right)^{0.81} \quad (\text{B. 6.27})$$

$$\frac{y_p}{\Delta z} = \left( \frac{y_c}{\Delta z} \right)^{0.66} \quad (\text{B. 6.28})$$

$$\frac{y_1}{\Delta z} = 0.54 \times \left( \frac{y_c}{\Delta z} \right)^{1.275} \quad (\text{B. 6.29})$$

$$y_2 = \frac{y_1}{2} \times \left( \sqrt{1 + 8 \times Fr_1^2} - 1 \right) \quad (\text{B. 6.30})$$

donde:

- $L_d$  = Longitud de la caída (m).  
 $\Delta z$  = Altura total de caída (m).  
 $y_c$  = Profundidad crítica (m).  
 $y_1$  = Profundidad de flujo aguas arriba del resalto hidráulico (m).  
 $y_2$  = Profundidad de flujo aguas abajo del resalto hidráulico (m).  
 $y_p$  = Profundidad de la piscina (m).  
 $Fr_1$  = Número de Froude correspondiente a la profundidad  $y_1$  aguas arriba del resalto hidráulico (adimensional).

La Ecuación (B. 6.30) es válida para canales rectangulares de baja pendiente (menores que 10%). La eficiencia de disipación del resalto hidráulico está definida por la siguiente ecuación:

$$E = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100\% \quad (\text{B. 6.31})$$

donde:

- $E$  = Eficiencia del resalto (%).  
 $E_1$  = Energía específica aguas arriba del resalto (m).  
 $E_2$  = Energía específica aguas abajo del resalto (m).

Si las condiciones de flujo en el canal o cuerpo receptor son fijas, el consultor debe realizar un proceso iterativo hasta que la lámina de agua, aguas abajo del resalto, coincida con el nivel natural del agua en el canal o cuerpo receptor.

Cuando se tiene una estructura de caída libre, con un flujo supercrítico en la zona aguas arriba de la caída, se debe utilizar la siguiente ecuación, de acuerdo con la Figura B. 6.32

$$\frac{y_1}{y_c} = \frac{2 Fr^{-\frac{2}{3}}}{1 + \frac{2}{Fr^2} + \sqrt{1 + \frac{2}{Fr^2} \left( 1 + \frac{\Delta z}{y_c} Fr^{\frac{2}{3}} \right)}} \quad (\text{B. 6.32})$$

donde:

- $y_1$  = Profundidad de agua en el punto de impacto aguas abajo de la caída (m).  
 $\Delta z$  = Altura de la caída (m).  
 $Fr$  = Número de Froude para el flujo supercrítico aguas arriba de la caída (Adimensional).

### 6.7.9.1.2 Canales escalonados

Este tipo de estructura de disipación de energía se debe utilizar cuando la caída vertical es superior a 7 m, o cuando por dificultad topográfica no se puede construir una caída libre. Estas estructuras se pueden calcular como una sucesión de caídas conocida como régimen de flujo saltante. El flujo crítico se obtiene al final de cada escalón, produciéndose un impacto del flujo después de cada caída. Posteriormente, se forma un resalto hidráulico obteniendo flujo subcrítico que se prolonga hasta la siguiente caída.

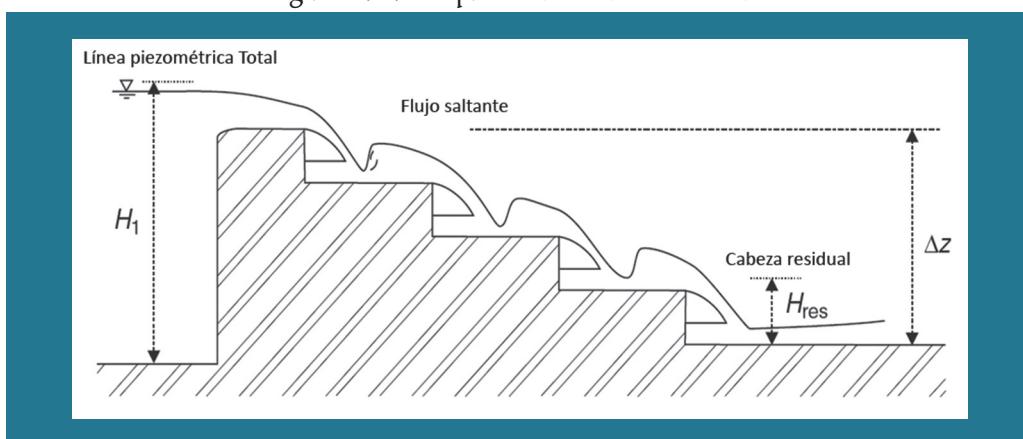
La disipación de energía se ocasiona por el rompimiento y mezcla del chorro, y por la formación de un resalto hidráulico en el escalón. La pérdida total de altura piezométrica es igual a la diferencia entre la máxima altura disponible y la altura residual aguas abajo (diferencia de altura en el último escalón). Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta H}{H_1} = 1 - \left( \frac{0.54 \left( \frac{y_c}{\Delta z} \right)^{0.275} + \frac{3.43}{2} \left( \frac{y_c}{\Delta z} \right)^{-0.55}}{\frac{3}{2} + \frac{\Delta z}{y_c}} \right) \quad (\text{B. 6.33})$$

donde:

- $\Delta H$  = Pérdida total de altura debido a la estructura escalonada (m).  
 $H_1$  = Máxima altura disponible aguas arriba de la estructura (m).  
 $\Delta z$  = Altura total de caída (m).

Figura B. 6.4 Esquema de caída escalonada<sup>3</sup>



En aquellos casos donde el caudal de flujo es grande, el régimen de flujo saltante en el canal escalonado se convierte en un régimen de flujo rasante, es decir un flujo turbulento extremadamente rugoso. La transición de flujo saltante a flujo rasante es función de la altura

<sup>4</sup> Tomado de “Hidráulica del Flujo en Canales Abiertos”; Hubert Chanson; 1999.

del escalón y de la pendiente del canal; el régimen de flujo rasante se presenta cuando se cumple la siguiente expresión.

$$\frac{y_c}{h} > 1.057 - 0.465 \times \frac{h}{l} \quad (\text{B. 6.34})$$

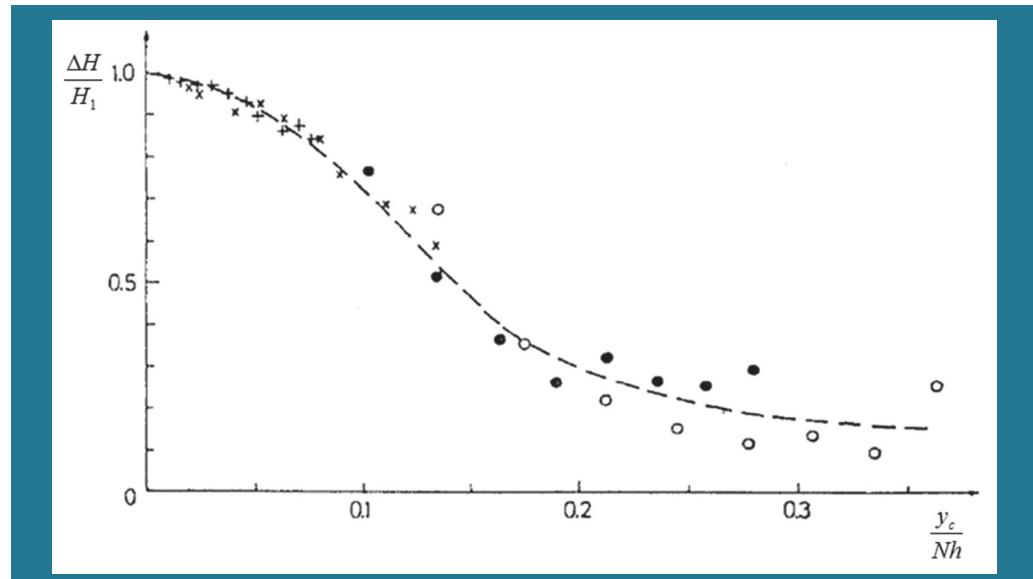
donde:

$h$  = Altura del escalón (m).

$l$  = Longitud del escalón (m).

Para el cálculo de la energía residual en el canal escalonado cuando el régimen de flujo es rasante se debe utilizar la Figura B. 6.5 mostrada a continuación.

Figura B. 6.5 Relación entre porcentaje de disipación y altura caída<sup>5</sup>



donde:

$h$  = Altura del escalón (m).

$N$  = Número de escalones (-).

$y_c$  = Profundidad crítica (m).

$\Delta H$  = Pérdida total de cabeza debido a la estructura escalonada (m).

$H_1$  = Máxima altura disponible aguas arriba de la estructura (m).

### 6.7.9.2 Canales de entrega de las aguas de lavado de tuberías

En caso de que la estructura de lavado, con sus válvulas y estructuras de disipación de energía, se encuentren alejadas de uno de los canales de drenaje natural del municipio objeto del diseño, es necesario construir un canal de evacuación de las aguas de lavado de tuberías, cuyo objetivo es transportar las aguas desde la estructura de disipación de energía hasta el drenaje natural. Para el diseño de estos canales debe tenerse en cuenta todo lo establecido en los literales B. 6.4.3 y B.6.5.1 de este Título.

<sup>5</sup> Tomado de "Hydraulic Design Handbook"; Larry W. Mays; 1999.

#### 6.7.9.2.1 Impacto ambiental de los canales de lavado

La operación de estructuras de lavado en redes de conducciones puede causar caudales mayores que aquellos que naturalmente se muevan en un cuerpo receptor del sistema de drenaje urbano del municipio o los municipios objeto del diseño. En caso que dichos caudales sean superiores al caudal máximo de los cuerpos receptores, calculados para un período de retorno de 10 años, el diseño de la estructura de lavado debe estudiar todos los efectos ambientales posibles sobre el cuerpo de agua, haciendo énfasis en aspectos sedimentológicos relacionados con problemas de socavación local o de transporte generalizado de sedimentos.

## 6.8 Referenciación de componentes

En todos los planos de diseño, el consultor debe dejar claramente establecida la referenciación de todos los componentes que conforman la línea de aducción y conducción. Esto es aplicable tanto para el caso de aducciones y/o conducciones nuevas como para el caso de ampliaciones/extensiones a sistemas existentes. El diseño debe contemplar los siguientes aspectos:

### 6.8.1 Catastro de la red

El diseño debe dejar claramente especificado tanto en los planos como en las memorias de cálculo, todo el catastro de la conducción o de las redes de conducciones que formen parte de un proyecto nuevo o de una ampliación a una red existente. Con respecto al catastro de la red, el diseño debe seguir el sistema de información geográfico definido por la persona prestadora del servicio de acueducto, dando preferencia a definiciones regionales, así como todas las bases de datos previamente definidas.

El catastro debe incluir todos los accesorios tales como válvulas, estaciones reguladoras de presión, y todos los accesorios importantes que formen parte de la línea de aducción y conducción, con sus respectivas especificaciones técnicas.

En todos los casos, el catastro de las líneas de aducción y conducción nuevas o ampliaciones/extensiones a líneas existentes, deben quedar referenciadas a los B.M. de la oficina de planeación municipal o la oficina de catastro de la persona prestadora del servicio de acueducto. En caso que en el municipio o los municipios objeto del diseño no existan B.M. en las oficinas de planeación municipal, el catastro de la red de aducciones o conducciones debe quedar referenciado a los B.M. o a las placas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

## 6.8.2 Referenciación

En el caso particular de las tuberías que formen parte de los diseños de aducciones o conducciones, el consultor debe referenciar la localización de todas las uniones, o al menos aquellas que permitan determinar la localización topográfica de las otras. Esta información es necesaria para las actividades de mantenimiento normal o bajo situaciones de emergencia. El diseño debe incluir todo lo establecido en el literal B.7.8 relativo a la referenciación de componentes de las redes de distribución de agua potable.

## 6.8.3 Sistemas de información geográfica

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, el diseño debe propender porque durante la construcción, la operación y las labores de mantenimiento de las líneas de aducción y de la conducción, ya sean nuevas o ampliaciones/extensiones a las existentes, se haga un uso intensivo de los sistemas de información geográfica, los cuales deben permitir:

1. Un manejo de toda la información de la red de conducciones en un modelo digital, el cual debe cumplir con características de conectividad con otros programas existentes en la persona prestadora del servicio, en particular con los programas de diseño de redes de acueducto.
2. Facilidad de generar datos de entrada a los diferentes modelos utilizados por la persona prestadora del servicio público domiciliario de acueducto, de manera simple y rápida, reduciendo las posibilidades de error.
3. Permitir fácilmente la actualización y el seguimiento continuo de los datos de la conducción o la red de conducciones.
4. Ingresar y almacenar en forma rápida y simple cualquier información nueva que sea generada para la conducción o la red de conducciones por parte de la persona prestadora del servicio de acueducto.

La referenciación debe hacer uso de las bases de datos y el sistema de información geográfica existentes en la persona prestadora del servicio de acueducto, priorizando el uso de aquellos definidos a nivel regional, de los sistemas de información geográfica y debe hacer uso de todos los sistemas y transmisión de datos tipo SCADA, adoptados para la operación del sistema de acueducto en el municipio o los municipios objeto del diseño. Es necesario que el sistema de información geográfica se encuentre basado en los planos de obra final construida (*As built*) debidamente actualizados.

Las especificaciones establecidas en este literal se recomiendan para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio.

## 6.8.4 Uso de la referenciación en conjunto con las herramientas de tecnología de información

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, la tecnología de información debe permitir la actualización permanente de la información de las bases de datos y de los sistemas de información geográficos definidos por la persona prestadora del servicio de acueducto. Con el fin de cumplir con esto se debe contar con una referenciación adecuada de cada uno de los componentes de tal forma que genere información útil para la actualización.

La información proveniente de la referenciación debe consolidarse en formatos digitales compatibles con las bases de datos y con los sistemas de información geográficos definidos por la persona prestadora del servicio de acueducto, dando siempre preferencia a aquellos sistemas que hayan sido definidos por empresas regionales.

## 6.9 Aspectos de la puesta en marcha

Una vez que la línea de aducción y/o conducción diseñada haya finalizado su etapa de construcción, la persona prestadora del servicio debe asegurar la realización por parte del constructor de las pruebas descritas en los literales B.6.9.1 y B.6.9.2 de este Título, antes de que el sistema entre en operación definitiva. La persona prestadora del servicio de acueducto debe asegurar que todas las pruebas estén de acuerdo con el protocolo de pruebas establecido por el consultor que diseña la red de distribución.

### 6.9.1 Canales a flujo libre

Una vez que entren en operación el canal o los canales que conformen la aducción a superficie libre, deben verificarse los caudales y los niveles de acuerdo con las siguientes especificaciones:

#### 6.9.1.1 Caudales

Para verificar que los canales estén moviendo el caudal diseñado deben efectuarse mediciones y aforos en el momento de entrar operación dicho canal. En caso que en el canal existan estructuras aforadoras, tales como canaletas Parshall, vertederos de cresta delgada, etc., podrán utilizarse dichas estructuras siempre y cuando se encuentren calibradas. En caso que las estructuras aforadoras no se encuentren calibradas o que éstas no existan en el canal de la aducción, deben realizarse aforos utilizando correntómetros de hélice, magnéticos, electrónicos, o de efecto Doppler acústico.

El aforo de los caudales debe realizarse al inicio y al final del canal si la longitud total de éste es inferior a los 1500 m. Si la longitud es mayor, deben realizarse otros aforos intermedio cada 1000 m. El objetivo es verificar que la infiltración que ocurra a lo largo del canal no esté afectando el caudal movido por éste.

### 6.9.1.2 Niveles de la superficie libre

Una vez que entran en operación el canal o los canales que conforman la aducción deben verificarse los niveles de la superficie libre del agua para la condición de caudal máximo de operación. Para verificar dichos niveles es necesario tener puntos topográficos perfectamente nivelados y amarrados a una red que permita conocer la pendiente de la línea de gradiente hidráulico que está ocurriendo en el canal. Deben tenerse por lo menos cinco puntos de medida del nivel a lo largo del canal, siendo obligatorio verificar el nivel en aquellos puntos donde existan estructuras de control, tales como vertederos, canaletas Parshall, compuertas, etc.

## 6.9.2 Conductos a presión

Una vez que la aducción, en el caso que esté conformada total o parcialmente por conductos presurizados, o la conducción haya finalizado su etapa de construcción, se debe llevar a cabo una serie de pruebas antes de que el sistema entre en operación definitiva. En particular, el constructor debe seguir las pruebas establecidas en el protocolo de pruebas que debe acompañar el diseño. En dicho protocolo debe quedar establecido el tipo de mediciones, la localización de los aparatos medidores, la precisión de estos y la frecuencia de las medidas. Igualmente, el protocolo debe especificar los valores que deben encontrarse en las diferentes pruebas los cuales no deben diferenciarse en  $\pm 5\%$  de aquellos valores teóricos realizados durante el diseño.

Adicionalmente, en caso de que la aducción esté conformada total o parcialmente por conductos presurizados o la conducción, en el momento de la puesta en marcha debe tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

### 6.9.2.1 Pruebas hidrostáticas

Una vez finalice la instalación de la tubería de aducción que va a trabajar a presión o de la conducción, y siguiendo el protocolo de pruebas establecido por el diseño (Ver literal B.6.5.10), ésta debe presurizarse hasta 1.5 veces el nivel máximo de la presión dinámica que va a soportar durante su vida útil, si se trata de sistemas de bombeo, y hasta 1.5 veces el nivel máximo de la presión estática que va a soportar durante su vida útil, si se trata de sistemas a gravedad, con el fin de verificar su estanquidad y si existen problemas en las uniones, juntas, accesorios, etc. Igualmente debe verificarse el correcto funcionamiento de los anclajes, teniendo en cuenta lo establecido por el protocolo de pruebas. Estas pruebas pueden realizarse por tramos de la aducción a presión o de la conducción, aislados mediante válvulas.

### 6.9.2.2 Medición de caudales

Una vez finalizadas las pruebas hidrostáticas y después de llenar las zanjas en los tramos enterrados de las tuberías, deben verificarse los caudales de operación incluyendo el caudal máximo. Para verificar dichos caudales deben aforarse tanto el caudal de entrada como el caudal de salida de la conducción. El consultor o la persona prestadora del servicio, dentro del protocolo de pruebas debe establecer el tipo de aparatos de medición, su precisión y el nivel de duración de la prueba.

### 6.9.2.3 Línea piezométrica de la conducción

Con el fin de verificar lo establecido por el diseño, y siguiendo el protocolo de pruebas dado por el consultor o la persona prestadora del servicio, debe medirse la altura piezométrica en diferentes puntos de la tubería para diferentes condiciones de caudal, incluyendo tanto el caudal máximo como el caudal mínimo.

Para verificar la altura piezométrica deben utilizarse los puntos de medición establecidos en la tubería, especialmente los puntos de medición de presiones cerca de los accesorios de control y puntos de pitometría. Debe ponerse especial cuidado en aquellos puntos de la tubería donde haya cambios de dirección, tanto verticales como horizontales, en los puntos de presión máxima y sobre todo en los puntos en los cuales la línea física de la tubería se acerca más a la línea piezométrica de diseño. Los datos tomados de esta forma deben ser almacenados en un sistema de información, con el fin de ser comparados con aquellos obtenidos a lo largo de la vida útil del proyecto durante su operación normal.

### 6.9.2.4 Desinfección de la conducción

Siempre que se hagan trabajos en una línea de conducción, ya sea una instalación nueva, o una ampliación de una conducción existente, ésta debe ser desinfectada. La desinfección debe ser hecha por el instalador de la tubería y debe realizarse de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma Técnica AWWA C-651. Una vez desinfectada la tubería, se deben verificar los datos de calidad de agua con respecto a cloro residual, de acuerdo con el protocolo de pruebas establecido en el diseño.

Para la desinfección de la conducción deben tenerse en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Antes de la aplicación del desinfectante, la tubería debe lavarse haciendo circular agua a través de ella y descargándolas por las válvulas de descarga o purga con el objeto de remover todas las materias extrañas, residuos de los procesos de construcción. El desinfectante debe aplicarse donde inicia la tubería. Para secciones

- de la conducción localizada entre válvulas, el desinfectante debe aplicarse por medio de una llave de incorporación.
2. Preferiblemente debe utilizarse cloro o hipoclorito de sodio como desinfectante. La tasa de entrada de la mezcla de agua con gas de cloro a la tubería debe ser proporcional al caudal que entra al tubo. En particular debe seguirse lo establecido por la Norma AWWA C-651.
  3. La cantidad de cloro debe ser tal que produzca una concentración mínima de 50 ppm. El diseño debe establecer claramente la cantidad y calidad del cloro que debe ser inyectado en cada llave de incorporación. En todos los casos el procedimiento de desinfección debe ser aprobado por la persona prestadora del servicio de acueducto.
  4. El período de retención del agua desinfectada dentro de la red de conducciones de agua potable no debe ser menor que 24 horas. Después de este período de retención, el contenido de cloro residual en los extremos de la tubería, en las llegadas a los tanques de almacenamiento y/o compensación; y en los puntos representativos establecidos por el diseño, deben ser de por lo menos 5 ppm.
  5. Una vez que se haya hecho la cloración y haya transcurrido el período mínimo de retención, la tubería debe ser desocupada completamente. Cuando se hagan cortes en alguna de las tuberías que conforman la red de conducciones con el fin de hacer reparaciones, o ampliaciones/extensiones, la tubería cortada debe someterse a cloración a lado y lado del punto de corte.
  6. Se debe hacer un muestreo final para llevar a cabo un análisis microbiológico. En caso que la muestra no tenga resultados de calidad de agua adecuados, teniendo en cuenta lo establecido por el Decreto 1575 de 2007, debe repetirse el proceso de desinfección.

### 6.9.2.5 Golpe de Ariete

Teniendo en cuenta lo establecido por el diseño con respecto al golpe de ariete en la tubería de aducción o conducción, debe tomarse la condición normal de operación que produzca las mayores sobrepresiones y la condición normal de operación que produzca las menores supresiones, con el fin de realizar una prueba de golpe de ariete. Esta prueba debe simular dicha condición normal de operación, y debe medirse, la presión en aquellos puntos que, de acuerdo con el diseño, presentan las máximas sobreellevaciones de presión y las mínimas presiones. Las pruebas de golpe de ariete se deben realizar para todos los niveles de complejidad del sistema. Estos datos deben ser registrados con el fin de ser enviados, en caso de ser solicitados, a la SSPD.

### 6.9.2.6 Accesorios y Válvulas

Una vez finalizada la construcción de una aducción a presión o de una nueva conducción o de ampliación a sistemas existentes, para todos los niveles de complejidad del sistema se debe verificar la estanqueidad de cada uno de los accesorios que forman parte de la línea. Con respecto a las válvulas y a otros equipos electromecánicos que formen parte de estos sistemas, se debe verificar su correcto funcionamiento antes de proceder a cerrar la zanja en la cual se va a enterrar la línea de la tubería.

### 6.9.2.7 Correcto funcionamiento del equipo electromecánico

En caso que en la línea de tubería existan accesorios mecánicos o electromecánicos, debe verificarse su correcto funcionamiento antes de proceder a cerrar la zanja en la cual se encuentra la tubería enterrada.

### 6.9.2.8 Presiones en los accesorios

En aquellas aducciones o conducciones que incluyan tuberías con diámetros superiores o iguales que 600 mm, para diferentes condiciones de caudales en la tubería, deben verificarse la presión existente en el accesorio y la pérdida de altura piezométrica ocurrida en éste. Debe ponerse especial cuidado a aquellos accesorios cuyo objetivo es el de producir una pérdida menor grande, tales como válvulas reguladoras de presión, válvulas reductoras de presión, etc.

### 6.9.2.9 Válvulas de lavado y purga

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, las estructuras utilizadas para el lavado de las tuberías de las conducciones, con el fin de remover películas biológicas o depósitos inorgánicos, o prevenir el crecimiento de biopelículas, o prevenir la sedimentación de material inorgánico, debe someterse el procedimiento establecido por el consultor o por la persona prestadora del servicio en el protocolo de pruebas con el fin de verificar su correcto funcionamiento hidráulico, midiendo el caudal de lavado como función de la presión en el sitio de descarga.

En todas las válvulas de lavado o purga que existan a lo largo de una línea de conducciones debe verificarse su correcto funcionamiento y debe medirse el caudal y la velocidad de salida del agua, especialmente para las condiciones normales de operación para el lavado de la tubería. En el diseño deben quedar perfectamente establecidos el tipo de aparatos de medición, la precisión de medida y las frecuencias de las mediciones de estos caudales y velocidades.

En aquellos casos en que las estructuras de lavados incluyan el uso de estructuras de disipación de energía y canales de descarga a la red de drenaje natural del municipio o los municipios objeto del diseño, se debe verificar el correcto funcionamiento de las estructuras y de los canales, midiendo las

velocidades a la salida, el nivel del agua en los canales y la velocidad de flujo en estos. El protocolo de prueba debe establecer los sitios de medición así como los aparatos de medición, su precisión de medida y la frecuencia de toma de datos.

#### 6.9.2.10 Ventosas

Para todas las ventosas que existan a lo largo de la línea de conducción, en todos los niveles de complejidad del sistema deben realizarse las pruebas establecidas en el protocolo de pruebas, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento para todas las condiciones normales de operación y particularmente para aquellas condiciones de vaciado de la tubería. En particular, debe seguirse todo lo establecido en la Norma AWWA C512.

### 6.10 Aspectos de la operación

para el caso de las aducciones y conducciones, desde la etapa de diseño se deben establecer en el manual de operaciones los siguientes aspectos operativos de estos sistemas con el fin de asegurar el correcto funcionamiento hidráulico de estas para las diferentes condiciones de operación normal y/o de emergencia que puedan ocurrir a lo largo de la vida útil del proyecto.

#### 6.10.1 Mediciones de caudal

Con el fin de verificar el caudal de agua que llega al final de una aducción o de una conducción durante toda la vida útil del proyecto, las personas prestadoras del servicio deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo no se requiere medir el caudal de agua a la salida de la aducción o de la conducción. Se recomienda una medición del caudal de agua a la entrada a la conducción.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio se recomienda hacer una medición del caudal a la salida de la estructura de aducción y a la salida de las conducciones cada 2 horas durante todo el periodo de operación del proyecto y guardar dichos registro en una base de datos. Estos registros deben guardarse con el fin de ser enviados, en caso que sean solicitados, a la SSPD. Se debe dar preferencia al tipo de bases de datos definidas por las personas prestadoras del servicio de tipo regional.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto se debe medir el caudal al inicio y al final de la aducción y de la conducción, y se recomienda el uso de telemetría. En las conducciones se debe medir el caudal en la entrada a tanques y en la entrada a

los sectores y/o subsectores que conformen la sectorización del servicio de acueducto en el municipio. Estas mediciones se deben realizar en tiempo real. Los datos tomados sobre estos caudales deben guardarse en base de datos, para ser enviados, en caso de solicitud, a la SSPD. Se debe hacer uso de las bases de datos definidas por la persona prestadora del servicio de acueducto en el municipio o a nivel regional, si éste es el caso.

4. Para el nivel de complejidad del sistema alto durante todo el período de diseño del proyecto debe medirse el caudal a la entrada al sistema de aducciones y al sistema de conducciones y en cada punto de salida del sistema de conducciones, en forma continua. Los datos así registrados se deben guardar en una base de datos que permita en forma continua establecer el balance de agua en la red de conducciones de las personas prestadoras del servicio de acueducto del municipio. En el caso de las medidas de caudal es obligatorio tener mediciones telemétricas, para lo cual el diseño debe establecer claramente los puntos de medición, los instrumentos a ser utilizados, la frecuencia de toma de datos de caudal y el nivel de precisión de las medidas.

La medición de caudales en los canales abiertos que conforman las aducciones puede realizarse mediante vertederos debidamente calibrados (Norma Técnica Colombiana NTC3705), mediante el uso de una canaleta Parshall (Norma Técnica Colombiana NTC3933), molinetes (Norma Técnica Colombiana NTC 3945) o correntómetros acústicos de efecto doppler (Norma ASTM D5389). Para la selección del tipo de vertedero más apropiado para la medición de los caudales en las aducciones, se puede utilizar como guía la Norma ASTM D5640.

### 6.10.1.1 Control de caudal en las derivaciones de agua cruda

Una vez que la aducción se encuentre en operación y durante todo el período de vida útil del proyecto, deben verificarse los caudales derivados, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo no se requiere hacer mediciones de caudal en las derivaciones de agua cruda .
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio se recomienda medir los caudales en las derivaciones de agua cruda.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto deben medirse los caudales en las derivaciones de agua cruda.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto debe medirse el caudal en las derivaciones de agua cruda. En estos casos se recomienda telemetría, con el fin de que la persona prestadora del servicio conozca en tiempo real la cantidad de agua que está siendo derivada de la aducción.

### 6.9.1.2 Capacidad hidráulica de los canales

Una vez que entren en operación los canales que conforman la estructura de aducción, deben cumplirse los siguientes requisitos de operación:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo debe verificarse la relación caudal vs. profundidad en el canal, por lo menos una vez al año y por lo menos en un punto del canal.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio debe verificarse la capacidad de conducción del canal, mediante la curva caudal vs. profundidad, por lo menos una vez al año y al menos en dos sitios del canal.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto debe verificarse la capacidad del canal, estableciendo la relación entre caudal y profundidad, por lo menos una vez al mes y en por lo menos dos puntos del canal.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto debe verificarse la capacidad hidráulica del canal, estableciendo la relación caudal vs. profundidad, por lo menos una vez al mes verificando el perfil de flujo a lo largo del canal. En este caso se recomiendan mediciones telemétricas.

### 6.10.2 Golpe de Ariete

Para las aducciones a presión y las conducciones que formen parte de sistemas con nivel de complejidad del sistema alto, y en forma recomendada para aquellas que formen parte de sistemas en el nivel de complejidad del sistema medio alto, y en particular aquellas que cuenten con líneas de impulsión de bombeo, deben medirse las sobrepresiones y las subpresiones generadas bajo condiciones normales de operación de flujo no permanente, teniendo en cuenta en forma específica la operación de las válvulas y bombas. En este caso es obligatorio el uso de telemetría.

En el diseño deben quedar establecidos en forma clara los tipos de medición, los instrumentos, la frecuencia de toma de datos y el nivel de precisión de las mediciones. Todos estos registros deben guardarse en las bases de datos de la persona prestadora del servicio de acueducto, con el objetivo de alimentar los modelos hidráulicos del sistema de acueducto, a la vez que conformen una base de datos que pueda ser enviada a la SSPD, en caso de requerimiento. Se debe hacer uso de las bases de datos definidas por la persona prestadora del servicio y se debe dar preferencia a aquellas definidas regionalmente.

### 6.10.3 Línea Piezométrica

Para las aducciones o conducciones que estén compuestas por ductos presurizados, a lo largo de toda la vida útil del proyecto debe realizarse una

revisión de la línea piezométrica o línea de gradiente hidráulico a lo largo de toda la tubería, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo debe revisarse la línea piezométrica correspondiente al caudal máximo de operación, al menos una vez al mes.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio debe medirse la línea piezométrica, al menos una vez al mes con el caudal máximo de operación. Estos datos deben guardarse con el fin de ser enviados a la SSPD.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto debe revisarse diariamente la línea piezométrica de la tubería. En este caso se recomienda el uso de instrumentos telemétricos. Deben guardarse los registros de la línea piezométrica, con el fin de ser enviados, en caso de solicitud, a la SSPD.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto debe realizarse una medición permanente de la línea piezométrica. Para este nivel de complejidad del sistema es obligatorio tener instrumentación telemétrica a lo largo de toda la línea de aducción o conducción, con el fin de que la persona prestadora del servicio conozca en tiempo real las presiones a lo largo de la tubería para diferentes condiciones de operación. Estos registros deben ser guardados, con el fin de ser enviados, en caso de que se requieran, a la SSPD.

La medición de la línea piezométrica en las conducciones debe ser permanente, y el diseño debe establecer en forma clara los puntos de medición, los instrumentos que deben ser utilizados, la precisión y la frecuencia de medición. En sistemas de conducciones existentes, los puntos de medición, los instrumentos a ser utilizados, la frecuencia y precisión de las mediciones deben ser definidas por parte de la persona prestadora del servicio de acueducto del municipio.

## 6.10.4 Instrumentación y telemetría en las aducciones y conducciones

En todos los puntos del sistema de aducciones y conducciones en los cuales exista instrumentación telemétrica, establecida en el diseño, debe verificarse que la precisión de los instrumentos en el momento de entrar en operación esté dentro del rango  $\pm 1\%$ . Adicionalmente, debe verificarse su correcta instalación en los diferentes puntos de las tuberías, en forma permanente a lo largo de la vida útil del proyecto.

En el caso específico de los sensores o transductores de presión, debe verificarse que la capacidad de estos cubra todo el rango de presiones que pueda presentarse en la tubería de conducciones, tanto bajo condiciones normales de operación como bajo condiciones de emergencia, en particular las sobrepresiones

y subpresiones ocasionadas por los casos de flujo no permanente, bajo la condición de operación extrema.

Con respecto a los medidores de velocidad y de caudal, debe verificarse que la capacidad de estos cubra todo el rango de velocidades que puedan presentarse en la tubería, tanto bajo condiciones normales de operación como bajo condiciones de emergencia. En particular debe verificarse que la instrumentación para la medida de caudales y de velocidades cubra también las operaciones extremas de lavado de las conducciones.

## 6.10.5 Calibración de las conducciones

Muchos de los aspectos de la operación hidráulica de redes de conducción complejas, tal como las encontradas en los Niveles de Complejidad del Sistema Alto y Medio Alto, requieren el uso de un modelo hidráulico previamente calibrado. Esto aplica para las conducciones y/o redes de conducciones nuevas como para las existentes, aun cuando estas últimas no hayan sido objeto de una ampliación/extensión. Por consiguiente, se debe establecer la forma de calibración una vez que esta entre en operación. La calibración del modelo de la red de conducciones debe realizarse siempre que en la red existente o nueva exista al menos una tubería con un diámetro nominal superior o igual a 250 mm.

## 6.10.6 Reglas de operación para evitar desprendimientos de biopelículas y resuspensión de depósitos inorgánicos

Dentro del diseño de las líneas de conducción nuevas o ampliaciones/extensiones a sistemas de conducción existentes, debe quedar perfectamente establecida la forma de obtener reglas de operación de dichos sistemas en cada una de las personas prestadoras del servicio de acueducto. El objetivo de esto es el establecer reglas para operaciones rutinarias, operaciones especiales tales como la puesta en marcha de una conducción nueva, el reemplazo de una tubería de conducción, el mantenimiento de una parte o la totalidad de alguna de las plantas de tratamiento o cualquier tipo de operaciones de emergencia, con el fin de no inducir el desprendimiento de películas biológicas y/o la resuspensión de partículas inorgánicas depositadas al interior de la tubería que deterioren la calidad del agua potable entregada por la empresa.

Las restricciones sobre las cuales el diseño debe establecer las reglas de operación deben ser planteadas por la persona prestadora del servicio de acueducto. En principio, se buscará que ninguna condición de operación implique cambios drásticos en la velocidad o en la dirección del flujo en las líneas de conducción; no se deben permitir incrementos de velocidad por encima de la

velocidad normal de operación, superiores al 100% de esta. Se deben evitar, hasta donde sea posible, reversas de flujo en las líneas de conducción. En caso que esto no sea posible, antes de hacer operativo el cambio, la persona prestadora del servicio debe proceder al lavado de las líneas de conducción, siguiendo todo lo establecido en el manual de operación de las conducciones dado por el diseñador.

Para los niveles de complejidad del sistema alto y como recomendación para los niveles de complejidad del sistema medio alto, con el fin de establecer las reglas de operación, el diseño debe especificar el modelo hidráulico que debe utilizarse para este propósito. El modelo hidráulico de la red de conducciones debe estar calibrado, de tal forma que permita probar diferentes alternativas de operación, especialmente para aquellos casos de operaciones no normales, con el objetivo de escoger la forma de operación que cumpla lo más cerca posible con los criterios establecidos en este literal.

## 6.10.7 Lavado de las tuberías de conducción

El diseño de la línea de conducción, ya sea nueva o una ampliación de una conducción existente, debe establecer el período de tiempo de su lavado. Se recomienda que este período sea de al menos una vez al año. De todas formas, el lavado de las líneas de conducción debe realizarse cuando se detecte un deterioro en las condiciones de calidad de agua, en la red de conducciones, o antes de condiciones de operaciones especiales que impliquen cambios drásticos en la hidráulica de las tuberías, tales como incrementos de velocidad sobre la velocidad media, superiores al ciento por ciento o reversa en la dirección del flujo.

El consultor debe establecer las condiciones de operación durante los lavados. En particular debe establecer el porcentaje de apertura y tiempo de apertura de las válvulas, indicando claramente cuáles de éstas deben abrirse para una operación de lavado en particular. Las reglas de operación establecidas desde el diseño deben ser tales que se produzcan velocidades superiores a 1.8 m/s en las tuberías de conducción objeto del lavado. Durante las operaciones de lavado se deben tomar las siguientes mediciones, preferiblemente mediante el uso de telemetría:

1. Velocidad del flujo en las tuberías objeto del proceso de lavado.
2. Los caudales descargados a través de las válvulas de descarga.
3. Los niveles de flujo en los canales de descarga.
4. Calidad del agua antes y después de la operación de lavado.
5. Seguimiento de la evolución de la calidad del agua hasta un período de por lo menos una semana después del lavado.

El diseño también debe dejar claramente establecido qué información, incluyendo el nivel de precisión y la frecuencia de medida, debe ser almacenada en las bases de datos de la persona prestadora del servicio de acueducto, con el fin de alimentar los modelos hidráulicos y permitir la calibración de estos, con el fin de que puedan utilizarse para definir operaciones de emergencia y/o lavado. Se

debe hacer uso de la base de datos definida por la persona prestadora del servicio y dichos datos deben estar disponibles, para que en caso de ser requeridos, sean enviados a las SSPD.

## 6.10.8 Calidad de agua en las conducciones

Para todos los niveles de complejidad del sistema, la calidad del agua en el sistema de conducciones debe ser tal que a la entrega de agua al suscriptor final se cumpla todo lo establecido en el Decreto 1575 del 2007 o la norma que lo modifique, adicione o sustituya sobre la calidad del agua en sistema de acueducto. El diseño debe establecer las metodologías para hacer un análisis permanente de la evolución de la calidad del agua en toda la red de conducciones a lo largo de todo el día, para las condiciones de abastecimiento actuales y futuras. Para el cálculo de la calidad de agua se debe hacer uso de los valores de coeficiente de decaimiento establecidos en el literal B.6.4.4.7 de este Título o aquellos que sean establecidos, mediante mediciones, por la persona prestadora del servicio de acueducto.

Para garantizar las condiciones de calidad de agua entregadas al cliente o suscriptor final, para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto se debe utilizar un modelo calibrado desde el punto de vista hidráulico y se debe hacer una calibración de los coeficientes de decaimiento desde el punto de vista de calidad de agua. El modelo hidráulico de simulación de redes de conducciones de agua potable debe tener la capacidad de analizar la evolución de la calidad de agua para períodos extendidos y debe hacer uso del método del gradiente para el caso de las condiciones hidráulicas.

Para sistemas de acueducto que formen parte del nivel de complejidad del sistema alto y medio alto, y como recomendación para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, se debe hacer uso del modelo hidráulico calibrado en conjunto con su rutina de calidad del agua, para escoger los puntos de la red en los cuales se debe colocar los dispositivos que permitan la toma de muestras para la medición de la calidad del agua.

## 6.10.9 Uso de programas de simulación hidráulica para la operación de conducciones

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, y como recomendación para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, la operación de la red de conducciones se debe modelar en un programa de modelación hidráulica que use el método del gradiente para sus cálculos, que en lo posible permita la modelación en período extendido y que tenga rutinas de calidad del agua.

El uso del modelo tiene el objetivo de establecer reglas de operación para el sistema de conducciones con base en restricciones tales como no permitir

velocidades que impliquen riesgos de desprendimiento de películas biológicas, de resuspensión de depósitos inorgánicos, o de no permitir la inversión de direcciones de flujo. Adicionalmente, para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto es obligatorio el uso de la modelación hidráulica en conjunto con la rutina de calidad de agua para escoger los sitios de localización de los dispositivos tanto en la red de conducción como en la red de distribución para la toma de muestras con el fin de garantizar la calidad del agua que el sistema entrega a sus suscriptores. La localización de los sitios de monitoreo, control y vigilancia de la calidad del agua deben ser definidos conjuntamente con la autoridad sanitaria de acuerdo con la normativa existente vigente.

El modelo hidráulico digital utilizado debe tener en cuenta la altimetría, la planimetría, la demanda de agua y patrones de consumo en la zona de interés, entre otros. El modelo debe representar de manera precisa la topología de la condición actual de la red de conducciones. La operación del sistema de conducciones debe modelarse en un modelo hidráulico calibrado para representar el comportamiento real de la red. El uso del modelo hidráulico como herramienta operativa debe incluir, entre otros, los siguientes aspectos:

1. Operación normal de la red de conducciones bajo diferentes régimenes de caudales y presiones.
2. Operaciones de emergencia en la red de conducciones.
3. Mantenimientos, tanto preventivos como correctivos en la red de conducciones.
4. Control de calidad de agua en la red de conducciones.
5. Control de pérdidas técnicas en la red de conducciones.

## 6.11 Aspectos del mantenimiento

En general, todo municipio de los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto debe establecer un sistema de gestión de calidad, que garantice la aplicación de todo lo establecido en este documento, incluyendo los aspectos de mantenimiento de este literal. Para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo o para aquellos municipios de los otros niveles de complejidad del sistema que no cuenten con sistema de gestión de calidad, se deben tener en cuenta los aspectos de mantenimiento mostrados en los literales B. 6.11.1 a B.6.11.12.

### 6.11.1 Manual de mantenimiento

El manual de mantenimiento de las aducciones y conducciones debe incluir un programa rutinario de labores de inspección, mantenimiento y reparación, determinando una serie de actividades diarias, semanales, mensuales y anuales. Para todos los niveles de complejidad del sistema, la persona prestadora del servicio de acueducto debe elaborar y mantener actualizado el manual de

mantenimiento en el que se debe incluir como mínimo lo establecido en los siguientes literales, además de los planos y figuras que sean requeridos. Las rutinas de mantenimiento deben permitir el normal funcionamiento sin interrupciones del servicio.

## 6.11.2 Mantenimiento correctivo y preventivo

Todas las estructuras que formen parte de la obra de aducción o de conducción, deben tener programa de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, las labores de mantenimiento serán básicamente de tipo correctivo.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio serán básicamente de tipo correctivo pero se recomiendan mantenimientos preventivos.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto y alto las labores de mantenimiento deben ser siempre de tipo preventivo.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto se recomienda un programa de mantenimiento predictivo.
5. Sin importar el nivel de complejidad del sistema, las labores de mantenimiento de todo equipo electromecánico deben ser de tipo preventivo y/o predictivo.

En caso que las labores de mantenimiento impliquen la suspensión en el servicio de acueducto, la persona prestadora del servicio debe informar a la comunidad sobre los horarios y cortes programados en el servicio de agua.

## 6.11.3 Suspensión del servicio por mantenimiento

En el caso que sea necesario suspender el servicio de la aducción o conducción por labores de mantenimiento programado, la suspensión debe limitarse a los siguientes períodos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, la suspensión del servicio tendrá una duración máxima de 48 horas.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio, la suspensión del servicio tendrá una duración máxima de 36 horas.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto, la suspensión del servicio tendrá una duración máxima de 24 horas.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto, la suspensión del servicio tendrá una duración de máximo 18 horas en las zonas del municipio que sean afectadas.

## 6.11.4 Registro de mantenimientos

Siempre que se hagan labores de mantenimiento en las aducciones o conducciones, deben seguirse los siguientes requisitos:

1. Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio se recomienda anotar la fecha, el daño ocurrido, la causa del daño, los repuestos utilizados y el procedimiento de reparación.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto es obligatorio anotar la fecha del daño, el tipo de daño ocurrido, la causa del daño, los repuestos utilizados y los procedimientos de reparación.
3. Para el nivel de complejidad del sistema alto es obligatorio anotar la fecha del daño, el tipo de daño ocurrido, la causa del daño, los repuestos utilizados y los procedimientos de reparación. Debe llevarse una base de datos con los registros históricos de los daños ocurridos en la aducción o conducción.

## 6.11.5 Disponibilidad de repuestos

En el caso que se requieran repuestos para las labores de mantenimiento de las estructuras y/o accesorios que conforman las aducciones o conducciones, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, la consecución y localización in situ de los repuestos debe realizarse en una semana como máximo.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio, la consecución y localización in situ de los repuestos necesarios debe realizarse en tres días como máximo.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto, la consecución y localización in situ de los repuestos requeridos por el mantenimiento debe realizarse en un día como máximo.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto, la consecución y localización in situ de los repuestos debe ser inmediata para aquellos que impliquen la suspensión del servicio. Para los repuestos que no impliquen suspensión del servicio la consecución y localización in situ debe realizarse en un día como máximo.

## 6.11.6 Válvulas de purga

Con el fin de mantener un control efectivo sobre la cantidad de sedimentos atrapados en las tuberías de aducción y/o conducción se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, la persona prestadora del servicio de acueducto debe tener

conocimiento pleno del tipo de sedimentos que están siendo retenidos en la aducción y/o conducción. Con el fin de mantener un control efectivo y un perfecto estado de funcionamiento de las válvulas de purga en las tuberías de conducción, desde la etapa de diseño deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos: la apertura de válvulas de purga debe realizarse en forma periódica de acuerdo con lo establecido en el diseño. En caso que se tenga instrumentación que permita detectar reducciones en los caudales y que las válvulas de purga sean telecomandadas, estas deben abrirse en el momento en que se detecte una reducción del caudal del 10% para una altura piezométrica dada a la entrada en la tubería de conducción. Esto permite la correcta operación de la red de conducciones en caso de situaciones de emergencia, tal como el estallido de alguna tubería.

2. Para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, la apertura de las válvulas de purga debe realizarse en forma periódica de acuerdo con lo establecido en el diseño. En caso que se tenga instrumentación que permita detectar las reducciones de caudales, las válvulas de purga deben abrirse en el momento en que se detecta una reducción del 20% en el caudal para una altura piezométrica dada a la entrada de la tubería de aducción o conducción.

### 6.11.7 Verificación de asentamientos en los anclajes

En caso que el sistema de aducción o conducción incluya tuberías presurizadas o tuberías a superficie libre en las cuales existan tramos por encima del nivel del terreno, deben verificarse los asentamientos de los anclajes en uniones, codos y otros tipos de accesorios, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto deben verificarse los asentamientos en los anclajes, al menos una vez al año. Sin embargo, si la aducción cruza terrenos inestables con problemas neotectónicos o el municipio se encuentra localizado en una zona de amenaza sísmica alta, los asentamientos deben verificarse al menos una vez cada seis meses.
2. Para el nivel de complejidad del sistema alto deben verificarse los asentamientos de los anclajes una vez cada tres meses. Sin embargo, si la aducción cruza terrenos inestables, terrenos con una alta actividad neotectónica o el municipio se encuentra localizado en una zona de amenaza sísmica alta, durante los primeros tres años de operación de la aducción deben verificarse los asentamientos de los anclajes, al menos una vez al mes.

## 6.11.8 Limpieza de tuberías y desprendimiento de biopelículas y/o depósitos inorgánicos

El diseño de las líneas de conducción o ampliaciones/extensiones a líneas de conducción debe establecer el período de limpieza de tuberías, especificando su velocidad mínima y su duración, con el fin de controlar el crecimiento de biopelículas, de provocar el desprendimiento de biopelículas y/o provocar el desprendimiento de depósitos inorgánicos al interior de la tubería. La labor de lavado de las tuberías se debe hacer en los períodos de demanda mínima, a lo largo del día, de tal manera que ésta pueda ser abastecida directamente desde los tanques de almacenamiento y/o compensación. El diseño también debe establecer las medidas de calidad de agua que permitan corregir los períodos de lavado, cuando esto sea necesario.

## 6.11.9 Limpieza de canales de descarga y estructuras de disipación de energía

En el caso que existan estructuras de disipación de energía y canales de descarga aguas abajo de las válvulas utilizadas para el lavado de la red de conducciones, el diseño de estas debe establecer el período óptimo de mantenimiento con el fin de asegurar la limpieza total de estas estructuras y su correcta operación para las operaciones de lavado de la red de conducciones.

## 6.11.10 Mantenimiento de accesorios

Para el caso de los accesorios que formen parte de la estructura de aducción o conducción, tanto a superficie libre como flujo a presión, se requieren las siguientes labores de mantenimiento:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo se recomienda verificar el estado, la apertura y el cierre de válvulas, purgas, ventosas, compuertas, etc., al menos una vez cada seis meses.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio debe verificarse el estado, la apertura, el cierre de válvulas, purgas, ventosas, compuertas, etc., al menos una vez cada tres meses.
3. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto debe verificarse el estado, la apertura, el cierre de válvulas, purgas, ventosas, compuertas, etc., al menos una vez cada mes.
4. En todo caso, deben seguirse las recomendaciones establecidas en las normas técnicas correspondientes para cada válvula y accesorio.

El mantenimiento de accesorios debe realizarse teniendo en cuenta las normas técnicas respectivas para cada uno.

### 6.11.11 Desinfección

Después de realizar las labores de mantenimiento en las tuberías de conducción, o en las tuberías matrices de distribución después de un proceso de reparación o de lavados, éstas se deben desinfectar siguiendo los procedimientos indicados en la Norma Técnica Colombiana NTC 4246.

### 6.11.12 Uso de tecnologías de información para labores de mantenimiento

Las operaciones de mantenimiento de los sistemas de aducción o de conducción se deben apoyar, para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, en el modelo hidráulico calibrado, con el fin de dimensionar el impacto de las acciones de una determinada intervención sobre dichos sistemas. De esta manera, si el mantenimiento incluye el cierre en la red, éste debe ser modelado para entender su comportamiento hidráulico y el impacto de la acción a realizar.

Las intervenciones en campo sobre las aducciones y/o conducciones deben estar apoyadas por sistema de posicionamiento global GPS, de tal forma que se permita una rápida actualización de cualquier cambio de la red sobre la cartográfica digital de la zona. Este requisito es obligatorio para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, y se recomienda para el nivel de complejidad del sistema medio. La información referente a los mantenimientos debe estar en formato digital y se debe registrar en la base datos de la persona prestadora del servicio público de acueducto. Todo cambio que se realice en las redes de conducción debe ser informado al departamento técnico de la persona prestadora del servicio público de acueducto para que estos realicen la actualización del modelo hidráulico existente y procedan a su recalibración. Cualquier mantenimiento que se planee al sistema de conducciones, para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, debe ser probado previamente en el modelo hidráulico. Estas disposiciones se recomiendan para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo.

# TÍTULO B

## REDES DE DISTRIBUCIÓN

# 7. REDES DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución es el conjunto de tuberías destinadas al suministro en ruta de agua potable a las viviendas y demás establecimientos municipales, públicos y privados. Estas redes parten de los tanques de almacenamiento y/o compensación e incluyen además de las tuberías, los nodos, las válvulas de control, las válvulas reguladoras de presión, las ventosas, los hidrantes, las acometidas domiciliarias y todos los demás accesorios y estructuras complementarias necesarios para la correcta operación del sistema.

## 7.1 Alcance

En este literal del Título B se incluyen los estudios previos, las condiciones generales, los parámetros de diseño, los aspectos de la puesta en marcha, los aspectos de la operación y los aspectos del mantenimiento de todas las estructuras y accesorios que conforman la red de distribución. Las disposiciones enumeradas a continuación tienen como objetivo conseguir la durabilidad, la seguridad, la economía y la correcta prestación del servicio con respecto a las condiciones de uso requeridas para cada caso, teniendo en cuenta los objetivos de saneamiento e higiene perseguidos para atender la población. Los diferentes aspectos se discriminan para los cuatro niveles de complejidad del sistema, de tal manera que el consultor, la persona prestadora del servicio o el constructor de una red de distribución de agua potable o de su ampliación debe conocer de antemano en qué nivel de complejidad del sistema se clasifica su trabajo, con el fin de identificar cuáles son los aspectos que debe tener en cuenta.

## 7.2 Estudios previos

### 7.2.1 Concepción del proyecto

Durante la concepción del proyecto deben definirse criterios técnicos y económicos que permitan comparar todas las alternativas posibles para la red de distribución del municipio, a partir de los datos de campo, geológicos, urbanísticos, demográficos (haciendo énfasis especial en los casos de etnias minoritarias) y de consumo de la población que se va a abastecer. Los sistemas de distribución de agua potable deben cumplir con los siguientes requisitos principales:

1. Suministrar agua potable a todos los usuarios en la cantidad y calidad necesarias y exigidas por la legislación pertinente.
2. Proveer suficiente agua para combatir incendios en cualquier punto del sistema.

3. Proveer agua para otros tipos de uso, tales como fuentes, servicios públicos etc.

La concepción del proyecto de la red de distribución debe incluir, entre otras, las siguientes actividades

- a) Definición de los caudales para el dimensionamiento de la red de distribución.
- b) Delimitación del perímetro sanitario, perímetro de servicio o del área total.
- c) Delimitación clara de las zonas de presión.
- d) Fijación de las capacidades de los tanques de distribución y compensación localizados dentro de la red de distribución.
- e) Análisis del sistema de distribución existente, con el objetivo de aprovechar eficientemente las tuberías existentes.
- f) Trazado de los conductos principales y secundarios de la red.
- g) Dimensionamiento de cada una de las tuberías de la red. En caso de que se trate de una ampliación debe establecerse claramente cuáles de las tuberías existentes deben ser redimensionadas, cambiadas o reforzadas.
- h) Cuando se trate de una ampliación a una red de distribución existente se debe contar con un modelo calibrado que permita la actualización de los coeficientes de rugosidad de las tuberías que no se van a reemplazar. Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, en los que no se cuente con un modelo para las tuberías que no se van a reemplazar se debe utilizar un coeficiente de rugosidad que esté acorde con la edad de éstas.
- i) Localización y dimensionamiento de los equipos y accesorios destinados al funcionamiento y la operación del sistema de distribución de agua potable.
- j) Definición de las etapas de ejecución del sistema de distribución de agua potable.
- k) Especificación de las obras, los materiales y los equipos que conforman la red de distribución.
- l) Estimación de los costos de diseño y de construcción del sistema de distribución.
- m) Especificación de los aspectos relacionados con la instrumentación, medición y toma de muestras del sistema, incluyendo la localización de los puntos de medición, la precisión de los equipos y la frecuencia de medición

## 7.2.2 Infraestructura existente

Para llevar a cabo el proceso de diseño de una red de distribución deben identificarse las principales obras de infraestructura construidas dentro de la

zona de influencia de la red de distribución objeto del diseño, tales como calles, avenidas, puentes, vías de transporte masivo y ferrocarril, líneas de transmisión de energía eléctrica, sistemas de alcantarillado y en general cualquier otra obra de infraestructura de importancia. El análisis de la infraestructura existente debe incluir un estudio sobre el sistema de las redes de distribución, en el cual se establezca tanto el catastro de tuberías y accesorios como el estado estructural actual de las tuberías y su forma de operación hidráulica.

### 7.2.3 Estudio de la demanda

El consultor o la persona prestadora debe conocer el estudio de la demanda de agua para el municipio por abastecer, o en su defecto debe realizarlo, siguiendo lo establecido en el literal B.2 de este Título.

### 7.2.4 Análisis de costo mínimo

Para el diseño de la red de distribución en los niveles de complejidad del sistema medio, medio alto y alto debe realizarse en todos los casos un análisis de costo mínimo, siguiendo los lineamientos establecidos en el capítulo A.8 “Evaluación socioeconómica” del Título A del RAS. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, este análisis de costo mínimo no será obligatorio. Sin embargo, para ese nivel de complejidad del sistema se recomienda que la red de distribución se encuentre optimizada con respecto al costo de los diámetros de las tuberías que la conforman.

### 7.2.5 Optimización de la red de distribución

El dimensionamiento de la red de distribución debe justificarse con estudios económicos comparativos que permitan determinar el diámetro óptimo de cada una de las tuberías de la red, compatibles con los requisitos técnicos, las etapas de construcción y la viabilidad económico financiera del proyecto. Para todos los niveles de complejidad del sistema debe realizarse un diseño optimizado de la red de distribución.

Los estudios económicos comparativos deben realizarse no sólo con el objeto de lograr la optimización de la red de distribución tomada aisladamente, sino con miras a encontrar una solución global de costo mínimo del conjunto de los componentes que integran el sistema. En particular, debe ponerse especial atención a aquellos sistemas que operen por bombeo. Debe escogerse el sistema de distribución cuyos costos de tuberías y costos de bombeo, incluida su operación en el largo plazo, sean los mínimos.

## 7.2.6 Distribución espacial de la demanda

El consultor debe identificar y calcular la variación de la demanda en el municipio, o la zona del municipio, objeto del diseño, teniendo en cuenta los diferentes usos del agua, las densidades de población, la estratificación de los servicios públicos y los usos de la tierra, y establecer para cada zona la demanda de agua potable teniendo en cuenta el análisis de estas variables. Con base en los planos catastrales de la ciudad o centro nucleado y de la red de distribución, en caso que exista, se debe utilizar el sistema de información geográfica definido por la persona prestadora del servicio público de acueducto, con el fin de asociar cada uno de los lotes de los usuarios con el nodo lógico de consumo de agua en la red de distribución.

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto la distribución espacial de la demanda requiere la referenciación de las coordenadas X, Y y Z de cada uno de los suscriptores al sistema de acueducto.

Para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo la distribución espacial de la demanda puede calcularse teniendo en cuenta el plan de ordenamiento territorial, el plan básico de ordenamiento territorial o el esquema de ordenamiento territorial del municipio según corresponda.

## 7.2.7 Aspectos generales de la zona de la red de distribución

El consultor debe conocer todos los aspectos generales del municipio o la zona del municipio objeto del diseño de una red de distribución. En general, debe conocer los regímenes de propiedad y los usos generales de la zona, así como los requisitos básicos sobre los diferentes tipos de suscriptores y los usos del agua que va a ser suministrada. Con el fin de establecer concretamente los aspectos generales de la zona objeto del diseño, el consultor debe conocer también toda la información planimétrica existente en la persona prestadora del servicio público de acueducto o en las oficinas de planeación municipal o departamental.

Como mínimo el consultor debe conocer la siguiente información referente a los aspectos generales de la zona:

- a) El perímetro urbano del municipio.
- b) La distribución espacial de la población y de la demanda en cada uno de los nodos de la red de distribución.
- c) Las calles y carreras aprobadas en el plan de desarrollo vial del municipio.
- d) Las vías de ferrocarril, las vías de sistemas de transporte masivo, las vías de alto tráfico, y las autopistas proyectadas.
- e) Las áreas de expansión futuras, previstas en el plan de ordenamiento territorial del municipio, teniendo en cuenta las densidades de saturación, cuando éstas existan, así como futuros proyectos de infraestructura de gran magnitud.

- f) Las áreas en donde el desarrollo urbano no esté permitido por el plan de ordenamiento territorial.
- g) Los terrenos de propiedad del Estado, del Departamento o del Municipio así como los predios o servidumbres que deben adquirirse para los trazados de las redes de distribución.
- h) Los cursos de agua con sus obras de canalización, tanto las existentes como las proyectadas. En particular se debe tener un perfecto conocimiento del sistema de drenaje urbano de la zona del municipio objeto del diseño.
- i) La indicación del número de edificios en cada manzana de la zona del municipio objeto del diseño de la red de distribución. En el caso de un proyecto de ampliación de la red de distribución, las manzanas y los edificios particulares deben ser extraídos de los planos de catastro municipal.
- j) La información topográfica del sistema de distribución de agua potable existente, en caso que se trate de una ampliación de la red de distribución.
- k) La localización de otras redes de servicios públicos, tales como las redes de alcantarillado de aguas lluvias y aguas residuales o combinados, las redes de distribución de gas domiciliario, las redes de teléfonos, de energía, de transmisión de datos y de televisión por cable.
- l) Usos del suelo de acuerdo con lo establecido en el plan de ordenamiento territorial, el plan básico de ordenamiento territorial o el esquema de ordenamiento territorial del municipio según corresponda.

## 7.2.8 Estudios topográficos

Con el objeto de llevar a cabo un proyecto de diseño de una red de distribución nueva o la ampliación de una red de distribución existente, el consultor debe realizar el levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico de la zona del municipio objeto del diseño, o de las áreas de expansión. Además debe recopilar la siguiente información geográfica, si existe y no tiene una antigüedad superior a los 10 años:

1. Planos aerofotogramétricos del municipio donde va a diseñarse, construirse o ampliarse la red de distribución.
2. Planos de catastro de instalaciones de infraestructura tales como energía, teléfonos, alcantarillados de aguas lluvias, alcantarillados de agua residuales y otras obras de infraestructura pertinentes.
3. Fotografías aéreas existentes para el municipio, que incluya la zona donde va diseñarse, construirse o ampliarse la red de distribución de agua potable.

4. Planos de catastro o inventario de redes existentes que tengan relación con la red que va a diseñarse, construirse o ampliarse.
5. Los planos del IGAC a escala 1:2000, en caso que existan, para ser usados a nivel de prediseño y de diseño de las redes de distribución.

## 7.2.9 Condiciones geológicas

Deben conocerse todas las condiciones geológicas y las características del subsuelo en las zonas del trazado de la red de distribución. Utilizando planos geológicos y/o información de campo, deben identificarse las zonas de fallas, de deslizamiento, de inundación y, en general, todas las zonas que presenten algún tipo de problema causado por fallas geológicas.

Debe recopilarse la información sobre sondeos eventualmente existentes que hayan sido hechos para el desarrollo o construcción de obras en el perímetro urbano del municipio.

Deben conocerse específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona en la que se localiza el municipio en el cual se diseña o construye la red de distribución. En particular, debe tenerse en cuenta todo lo establecido por la norma de construcciones sismoresistentes o la norma que la adicione, modifique o sustituya, con respecto a los niveles de amenaza sísmica de las diferentes zonas del municipio. Es obligación del consultor conocer el nivel de amenaza sísmica del municipio objeto del estudio para la red de distribución.

## 7.2.10 Estudio de suelos

Para el diseño de las redes de distribución se debe seguir lo establecido en el capítulo G.2 “Aspectos geotécnicos” del Título G del RAS: “Aspectos complementarios”. En todo caso se debe considerar la participación de un especialista en geotecnia que indique aquellos estudios adicionales a los mínimos establecidos en este documento. El estudio geotécnico debe considerar los siguientes aspectos adicionales:

1. Estudios para determinar las propiedades corrosivas de los suelos alrededor del trazado de la red de distribución.
2. Para una tubería de material y tipo de unión determinados, para ser utilizados en la red de distribución, se debe establecer la máxima deformación en las juntas, causada por movimiento del suelo, que puede resistir la tubería.
3. Se debe cumplir lo establecido en el artículo 192 de la Resolución 1096 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico, o la norma que la modifique, adicione o sustituya, sobre consideraciones sísmicas de los diseños geotécnicos.

4. El diseño debe recopilar toda la información existente sobre sondeos que forme parte de los archivos de la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio y que haya sido realizados para el desarrollo o construcción de otras obras en la zona del municipio objeto del diseño de la red de distribución.
5. El consultor puede realizar apiques para conocer las condiciones y características del suelo cuando no se tenga una información previa sobre éste, o para conocer el estado real en que se encuentran las tuberías en el caso de reposición de redes o en el caso de la conexión de una ampliación de una red nueva a una red existente.

## 7.2.11 Calidad de agua

Antes de realizar el diseño de una red de distribución nueva, de la ampliación de una red de distribución existente o en general de cualquier intervención en la red de distribución, el consultor debe conocer las características de la calidad del agua que se va a transportar y su evolución desde la salida de los tanques de almacenamiento y/o compensación hasta su llegada al punto de entrega. Se debe recopilar la información existente en la persona prestadora del servicio público de acueducto sobre las características de calidad del agua. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto se debe utilizar un modelo hidráulico calibrado que tenga rutinas de calidad de agua para modelar la calidad de agua en la red de distribución. La determinación de los puntos de medición para garantizar la calidad del agua entregada a cada uno de los suscriptores de la persona prestadora del servicio público de acueducto se debe hacer utilizando el modelo hidráulico, con el fin de seleccionar los puntos óptimos para la localización de los dispositivos para las tomas de muestras de agua.

Para todos los niveles de complejidad del sistema se deben seguir los lineamientos definidos para la selección de los puntos de muestreo de calidad de agua según lo establecido en el Decreto 1575 de 2007 y en las Resoluciones Reglamentarias 2115 de 2007 y 811 de 2008 o las normas que los modifiquen, adicionen o sustituyan además de los requerimientos de la autoridad sanitaria.

## 7.2.12 Factibilidad de ampliación

En caso de diseño de una nueva red de distribución de agua potable, podrá establecerse la construcción de ésta por etapas siguiendo lo establecido en la metodología de análisis de costo mínimo. De todas formas, cada una de las etapas en que se construya la red de distribución debe estar diseñada óptimamente, de acuerdo con lo establecido en el literal B.7.2.5. Para la ampliación de la red se aceptan tramos que sin constituir malla sean empatados a circuitos secundarios,

terminados en tapones provistos de válvulas para las futuras expansiones del sistema.

En el caso de ampliaciones/extensiones de redes existentes, el diseño debe estar optimizado de acuerdo con lo establecido en el literal B.7.2.4.

## 7.2.13 Interferencia con otras redes y corrientes eléctricas

Cuando el trazado de la red de distribución nueva o la ampliación de una red de distribución existente cruce o esté cerca de redes de energía, telecomunicaciones, gas, redes de alcantarillado y/o cualquier tipo de red o acometida domiciliaria, el diseño debe incluir las protecciones necesarias para evitar el daño de las tuberías, siguiendo lo establecido en el literal B.7.5.6 de este Título.

Cuando el trazado de la red de distribución cruce o esté cerca de redes eléctricas, líneas de alta tensión, o líneas de sistemas de transporte masivo que involucren altas corrientes eléctricas, el consultor debe estudiar la magnitud de las corrientes parásitas con el fin de seleccionar el material apropiado para la tubería de la red o la protección necesaria contra los problemas de corrosión inducidos por corrientes eléctricas. En todo caso se debe seguir lo establecido en el literal B.6.5.7 de este Título referente a los materiales y a la protección adecuada para las tuberías, en aquellos casos en donde existan interacciones con corrientes eléctricas y/o el trazado de la red cruce redes de gas o redes de alcantarillado.

## 7.2.14 Áreas por abastecer

Para el caso del diseño de una red de distribución nueva o de la ampliación de una red de distribución existente pero que incluya zonas del municipio que no hayan sido desarrolladas, el área por abastecer debe basarse en la población futura que va a ser atendida por el proyecto, y en las áreas industriales y comerciales presentes y las resultantes de la expansión futura. En el caso que en el municipio no exista un plan de desarrollo, debe considerarse como áreas de expansión aquellas que presenten un desenvolvimiento promisorio relacionado con factores que estimulen el crecimiento de la región. En todos los casos, el proyecto de abastecimiento de nuevas áreas debe consultar el plan de ordenamiento territorial, el plan básico de ordenamiento territorial o el esquema de ordenamiento territorial del municipio según corresponda.

El área por abastecer debe definirse mediante la interrelación con carreteras, calles, ríos y otros accidentes geográficos y debe ser demarcada en planos especialmente reservados para esta finalidad en las oficinas de la persona prestadora del servicio público de acueducto. La escala utilizada en estos planos debe ser tal que permita mostrar las características geométricas del municipio y los accidentes geográficos utilizados para la demarcación.

## 7.2.15 Amenaza sísmica

Debe establecerse la amenaza sísmica del municipio en el cual va a diseñarse, construirse o ampliarse la red de distribución, teniéndose en cuenta lo establecido por la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente al respecto. Deben tenerse en cuenta los mapas de amenaza sísmica existentes para la zona en la cual se localice el municipio. Los materiales y las tuberías, especialmente sus juntas, a seleccionar deben soportar los esfuerzos de tensión y de corte generados por el sismo de diseño aplicable al municipio.

## 7.3 Condiciones generales

La red de distribución primaria o red matriz de acueducto, es el conjunto de tuberías mayores que son utilizadas para la distribución de agua potable, que conforman las mallas principales de servicio en el municipio y que distribuyen el agua procedente de las líneas expresas o de la planta de tratamiento hacia las redes menores de acueducto. Las redes matrices son los elementos sobre los cuales se mantienen las presiones básicas de servicio para el funcionamiento correcto del sistema de distribución general. Para todos los niveles de complejidad del sistema no puede haber conexiones directas de suscriptores a las tuberías que conforman la red matriz.

Las redes de distribución secundarias y menores son el conjunto de tuberías destinadas al suministro en ruta del agua potable a las viviendas y demás establecimientos municipales públicos y privados.

En los municipios de nivel de complejidad del sistema alto, se consideran como redes de distribución secundaria a las tuberías de diámetros comprendidos entre 150 mm y 250 mm, y como redes de distribución menores las comprendidas entre 75 mm y 100 mm, las cuales se alimentan desde las redes matrices y reparten agua en ruta. La red primaria está conformada por las tuberías con diámetros de 300 mm y superiores.

En los municipios de nivel de complejidad del sistema medio alto, se consideran como redes de distribución secundaria las tuberías de diámetros comprendidos entre 62.5 mm y 100 mm, las cuales se alimentan desde las redes matrices y reparten agua en ruta. La red primaria está conformada por las tuberías con diámetros de 150 mm y superiores.

En los municipios de nivel de complejidad del sistema medio y bajo, se consideran como redes de distribución secundaria las tuberías de diámetros comprendidos entre 50 mm y 75 mm, las cuales se alimentan desde las redes matrices y reparten agua en ruta. La red primaria está conformada por las tuberías con diámetros de 100 mm y superiores.

Para el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de las redes de distribuciones deben identificarse las alternativas de distribución por gravedad, por bombeo y mixtas. Además deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones generales:

## 7.3.1 Recomendaciones sobre el trazado de la red de distribución

### 7.3.1.1 Recomendaciones generales

Para todos los niveles de complejidad del sistema, y hasta donde sea posible el diseño de la red de distribución debe tener como objetivo la instalación en terrenos de propiedad pública, evitando interferencias con complejos industriales, vías de tráfico intenso, redes eléctricas, tuberías principales de la red de gas, colectores del sistema de alcantarillado, instalaciones aeroportuarias, etc. En particular, para todos los niveles de complejidad del sistema deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. El trazado se debe hacer, en lo posible, en áreas públicas evitando adquisiciones o expropiaciones de terrenos particulares y zonas verdes. En caso que la red de distribución deba instalarse atravesando zonas privadas, se debe constituir una servidumbre a favor de la persona prestadora del servicio público domiciliario de acueducto del municipio.
2. Preferiblemente se deben ubicar las redes de distribución debajo de las zonas peatonales (andenes).
3. En todos los casos se debe llevar la red de distribución hasta el frente del lote, asegurando que se abarque la totalidad del frente de dicho lote.
4. El trazado de la red de distribución debe evitar interferencias con aquellos servicios públicos domiciliarios cuya red sea de difícil relocalización o presente dificultades técnicas importantes.
5. Las tuberías principales de la red de distribución deben ubicarse cerca de los grandes consumidores y de las áreas de mayor consumo específico.
6. El trazado debe evitar alineamientos junto a quebradas o cañadas que formen parte del sistema de drenaje urbano natural de los municipios objeto del diseño, debido a que allí particularmente deben existir concentraciones de redes de alcantarillado de aguas lluvias y aguas residuales, así como la presencia de suelos aluviales y suelos con niveles freáticos adicionales. Adicionalmente, en las zonas cercanas a las quebradas en municipios con topografías quebradas, se pueden presentar problemas importantes de inestabilidad de suelos que deben ser considerados.

7. Siempre deben buscarse rutas con topografía suave, evitando piezas y accesorios especiales.
8. Durante la ejecución de la obra, el trazado debe minimizar los desvíos e interrupciones del tráfico.
9. El trazado también debe propender por minimizar la cantidad de rotura y reconstrucción de pavimentos.
10. El trazado debe reducir al mínimo las interferencias con las redes de servicios públicos existentes durante el período de construcción.
11. En lo posible, debe evitarse ubicar tuberías nuevas en las calles que ya tengan instaladas tuberías de acueducto de diámetros mayores que 200 mm. A menos que las tuberías existentes sean parte de la red de conducciones.

### 7.3.1.2 Recomendaciones específicas

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, y como recomendación para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, para el trazado de una red de distribución, ya sea de un sector o un subsector, el consultor debe considerar las siguientes recomendaciones específicas:

1. Para la instalación de tuberías nuevas con diámetros mayores que 300 mm, deben evitarse las vías públicas con tráfico intenso y con una dificultad de manejo de tráfico durante la ejecución de las obras.
2. Los proyectos de redes de distribución deben evitar aquellas zonas que tengan riesgo de inundaciones periódicas, salvo cuando sea imprescindible ubicar algún conducto principal por zonas de tales características. En este caso, el diseño debe establecer el tipo de tubería y su protección según se establece en el literal B.7.5.6, para evitar problemas de contaminación del agua potable y posibles problemas de flotación de la tubería por presión freática.
3. En el caso de redes nuevas, la tubería de la red de distribución de agua potable se debe localizar preferiblemente en los costados norte y oriente de las calles y carreras, exceptuando aquellas vías que lleven doble tubería.
4. La red de distribución debe ser doble, con la ubicación de tuberías en los dos andenes de la vía, o junto a ellos cuando ocurra cualquiera de los siguientes casos:
  - a) La red esté ubicada en una avenida con tráfico intenso.
  - b) El ancho de la calle o carrera sea mayor a 15 m.
  - c) Que de acuerdo con un análisis económico, involucrando el costo de las acometidas y de las tuberías, se concluya que es más económica la instalación de una red doble.
  - d) Cuando exista separador central.

- e) Cuando las condiciones particulares del proyecto lo exijan, previa aprobación de la persona prestadora del servicio público de acueducto.

### 7.3.1.3 Recomendaciones para evitar puntos muertos en la red

Para todos los niveles de complejidad del sistema, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones cuyo objetivo es evitar, hasta donde sea posible, puntos muertos en la red de distribución. Para esto, desde la etapa de diseño se deben seguir las siguientes recomendaciones particulares:

1. La existencia de puntos en la red con velocidades nulas o con velocidades muy bajas para la condición de caudal máximo horario, no implica cambios en los diámetros mínimos de tuberías establecidos en este documento.
2. El diseño debe procurar que las redes que conforman los subsectores estén conformadas por circuitos cerrados de tuberías. De todas formas, el consultor debe verificar que en este tipo de redes con circuitos, no existan puntos en las tuberías con velocidades menores que 0.5 m/s o con velocidades nulas. Esta comprobación se debe realizar haciendo uso del modelo hidráulico de la red de distribución.
3. En caso que en alguna zona del sector o subsector no se pueda hacer una red cerrada, terminando con tuberías en punta, el trazado debe tratar que los puntos más extremos de estas tuberías terminen en un hidrante. En caso que no se pueda terminar en un hidrante, se debe terminar en una válvula para el lavado de la tubería, con sus correspondientes caja y estructura de descarga al sistema de alcantarillado de aguas lluvias o combinadas. En ningún caso se permite que la red de distribución termine en un suscriptor. En el diseño se debe verificar la calidad de agua que llega a los últimos suscriptores, asegurando que en todo momento se cumpla lo establecido por los decretos relacionados con la calidad de agua mínima en redes de distribución de agua potable.
4. En caso que exista la posibilidad de ampliación o extensión de la red, el hidrante o la válvula mencionados en el ítem anterior deben ir acompañados de una tee con su correspondiente tapón.

### 7.3.2 Análisis de puntos muertos en la red de distribución

En general, el diseño de redes de distribución nuevas o de ampliaciones/extensiones a redes de distribución existentes no debe permitir la existencia de

puntos muertos en la red, con excepción de aquellos casos en los cuales desde la etapa de diseño se tengan en cuenta posibles ampliaciones/extensiones futuras. En todos aquellos casos en los que existan puntos muertos, el diseño debe incluir todos los elementos de tuberías y accesorios de control con el fin de que la persona prestadora del servicio público de acueducto pueda hacer un lavado periódico de la red de distribución en ese sector hidráulico.

Adicionalmente, en el caso que existan zonas muertas en la red de distribución, el diseño debe incluir el análisis del efecto que dichas zonas tengan sobre la calidad del agua en los nodos cercanos a ellas.

El diseño también debe especificar, para el caso de todos los puntos muertos en la red de distribución, la forma de llevar a cabo las operaciones de lavado; debe especificar claramente cuáles son las válvulas que se deben operar simultáneamente con la apertura del hidrante o los hidrantes o la válvula localizada al final de la zona muerta. El propósito de estas operaciones es el de garantizar las condiciones de velocidad, y por consiguiente de esfuerzo cortante, que permitan el restablecimiento de la calidad del agua, y en caso que existan, el desprendimiento de películas biológicas y/o depósitos inorgánicos que hayan podido establecerse en las tuberías. Igualmente el diseño debe especificar la frecuencia de lavado, la cual no debe ser mayor que 6 meses, y la duración y hora en la cual se debe realizar dicho lavado.

### 7.3.3 Capacidad de la red

La red de distribución de agua potable debe proyectarse de tal forma que se asegure en todo momento el suministro directo y adecuado de agua potable al ciento por ciento de la población dentro del área de cobertura, con una presión suficiente y continua en todo el sistema.

### 7.3.4 Delimitación de zonas de presión

La red de distribución de agua potable debe subdividirse en las zonas de presión que sean necesarias para cumplir con las condiciones de presión máxima y presión mínima en todos los puntos de la red. El establecimiento de las zonas de presión se hace con el fin de obtener la máxima uniformidad en el gradiente de presiones entre los tanques, estaciones reductoras, estaciones sostenedoras de presión o estaciones de bombeo y los puntos de mínima presión.

Además, deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

1. Las áreas que estén ubicadas en terrenos altos y que requieran mayores presiones para ser abastecidas deben tener, en lo posible, sistemas separados de presión, debiendo mantenerse las presiones por medio de tanques elevados o, en última instancia, por bombeo.

2. La red de distribución debe estar subdividida en las zonas de presión que sean necesarias para atender las condiciones de presión impuestas por el presente documento.
3. Partes de una misma zona de presión podrán presentar presiones estáticas mayores a la máxima definida y menores que la mínima fijada, siempre y cuando sean cumplidas las condiciones siguientes:
  - a) El área por abastecer con presión estática superior en 20% al máximo establecido para esa zona de presión podrá corresponder al 10% del área de la zona. El área por abastecer con una presión estática superior en un 40% a la presión máxima establecida podrá corresponder hasta 5% del área de la zona de presión.

En todos los casos debe contarse con la tubería y accesorios adecuados.
  - b) El área por abastecer con presión dinámica mínima igual a las dos terceras partes del mínimo establecido para la zona de presión, debe corresponder como máximo al 10% del área de la zona de presión. El área por abastecer con presión dinámica mínima inferior a la mitad del mínimo establecido podrá corresponder al 5% del área de la zona de presión. En ningún caso se permite un valor inferior al mínimo establecido en el literal B.7.4.6.
  - c) Las presiones estáticas y dinámicas serán referidas así: la primera, con respecto al nivel de agua máximo, y la segunda, al nivel de agua mínimo de los tanques o embalses de distribución.
4. Las regiones pertenecientes al área de abastecimiento, que por sus características no tengan consumidores en su interior, no serán consideradas en la estimación de las presiones máximas disponibles pero deben ser consideradas para el cálculo de las presiones mínimas.
5. Las presiones de la zona de presión de la red de distribución deben estar condicionadas por la ubicación de los tanques de distribución.
6. Cuando una zona para la localización de un tanque no presente cota suficiente para garantizar las condiciones de presión necesarias para el correcto funcionamiento de la red, la distribución debe realizarse a partir de un tanque elevado.
7. Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, se debe hacer un análisis de la redundancia de la red empleando el concepto de resiliencia. Para esto se debe hacer

uso del modelo hidráulico calibrado de la red de distribución de agua potable. En general, se debe preferir aquellos diseños en los cuales la resiliencia de la red se encuentre por encima del 50%, debido a que de esta forma se garantiza el obtener una red más confiable frente a los posibles daños de algunas de sus tuberías.

### 7.3.5 Sectorización del servicio

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto la red de distribución de agua potable debe estar sectorizada a fin de lograr racionalización del servicio.

Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio se recomienda que la red esté sectorizada.

La sectorización del servicio debe buscar los siguientes objetivos:

1. Controlar las pérdidas de agua.
2. Controlar fugas en las zonas de presión.
3. Controlar la presión en diferentes zonas.
4. Facilitar las labores de mantenimiento preventivo programado.
5. Facilitar las labores de mantenimiento correctivo.
6. Facilitar la reparación de daños.
7. Optimizar la operación del servicio.
8. Prever la concesión de la operación de la red a diferentes personas prestadoras del servicio.

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, la sectorización realizada sobre la red de distribución de agua potable debe probarse en el modelo hidráulico calibrado de la red.

### 7.3.6 Topología de la red de distribución

Con respecto a la topología de las redes de distribución, el diseño debe tener en cuenta las siguientes condiciones generales:

1. Las redes de distribución deben conformar circuitos cerrados con interconexiones de tuberías en los puntos de cruce o nodos; o sin interconexión, siempre y cuando se prevea la alimentación de las tuberías por los dos ramales y se garantice que se cumpla con los requisitos de la presión mínima y máxima y de caudal demandado en cada nodo.
2. El diseño puede incluir tramos de la red de distribución abiertos, siempre y cuando terminen en hidrantes o en tapones provistos

de una válvula de purga, que sirvan para limpieza de la tubería y/o para expansiones futuras del sistema, evitando puntos muertos en el sistema debido a los problemas de calidad de agua que estos conllevan. En estos casos, el diseño debe establecer la frecuencia y forma de lavado de estas tuberías abiertas.

3. La topología de la red debe conservar una configuración de circuitos cerrados independientemente de los diámetros de las tuberías que los conformen, a menos que exista una dificultad técnica o urbana que impida la materialización de un circuito.
4. Preferiblemente la alimentación de cada sector o subsector en que se haya sectorizado la red de distribución, se debe efectuar por un solo punto con el fin de facilitar el cálculo de los balances de agua necesarios para controlar el índice de agua no contabilizada.

### 7.3.6.1 Topología de las redes matrices o primarias

Las tuberías que conforman las redes primarias deben ubicarse en calles existentes, cerca de las áreas en donde se prevé el abastecimiento de agua para el control de incendios y tan cerca cuanto sea posible de los consumidores especiales y de los grandes consumidores.

### 7.3.6.2 Topología de las tuberías secundarias para el nivel de complejidad del sistema alto

Las tuberías que conforman las redes secundarias deben formar circuitos cerrados siempre que se cumpla con alguna o varias de las siguientes condiciones:

- El área por abastecer sea mayor que  $1 \text{ km}^2$ .
- La distancia promedio entre las tuberías secundarias paralelas sea mayor de 250 m.
- La distancia entre la tubería secundaria que se ubica más próxima al límite del área a abastecer y el perímetro de esta área sea igual o mayor que 150 m.

Las tuberías secundarias también deben conformar circuitos cerrados cuando:

- Así lo indique la persona prestadora del servicio público de acueducto.
- Se desee garantizar mayor seguridad al abastecimiento.
- El caudal máximo previsto en el área por abastecer con el circuito cerrado sea mayor que 25 L/s.

### 7.3.6.3 Topología de las tuberías secundarias para los niveles de complejidad del sistema medio alto, medio y bajo y de redes menores de distribución para el nivel de complejidad del sistema alto

Estas redes de distribución deben conformar circuitos cerrados por interconexiones en los puntos de cruce, o pueden ser independientes, siempre y cuando en el futuro se prevea su alimentación por los dos extremos y se garantice que se cumpla con la presión y la colocación conjunta de las tuberías principales de alimentación.

La red de distribución debe ser doble, con la ubicación de las tuberías en los dos andenes, o junto a ellos cuando ocurra cualquiera de los siguientes casos:

- La red está ubicada en una calle que sea considerada como vía arteria por las autoridades municipales.
- El ancho de la calle sea mayor que 15 m.
- Un análisis económico involucrando el costo de las acometidas y de las tuberías concluya que sea más económica la instalación de una red doble.

### 7.3.7 Facilidad de acceso

Para todos los niveles de complejidad del sistema, las tuberías que conformen la red de distribución deben tener facilidad de acceso para los equipos de mantenimiento de la persona prestadora del servicio público de acueducto, a lo largo de todo su trazado. En caso que alguna de las válvulas reguladoras de presión quede localizada por debajo de una vía de alto tráfico, el acceso para la operación y mantenimiento de estas estructuras debe realizarse desde el lado de la vía, particularmente para el caso de los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto. Para el diseño de las cajas de las válvulas reguladoras de presión, el consultor debe tener en cuenta lo establecido en el literal B.7.7.3.11 de este Título, referente a las estaciones reguladoras de presión para válvulas con diámetros entre 50 mm y 250 mm.

### 7.3.8 Protección contra la contaminación

El diseño debe tener especial cuidado con la posible contaminación de las aguas tratadas que se mueven a lo largo de la red de distribución. En general, las tuberías de la red de distribución presentan una vulnerabilidad baja a la contaminación que se encuentra en los suelos que rodean la tubería, desde los tanques de almacenamiento y/o compensación hasta los puntos de entrega. En caso que la red de distribución cruce por terrenos que pudiesen causar contaminación del agua tratada, el material de la tubería debe presentar

una vulnerabilidad baja al tipo de contaminante específico. En caso contrario la tubería debe protegerse en su exterior según lo indicado en el literal B.7.5.6 de este Título, con el fin de evitar posibles problemas de infiltración a la tubería ya sea por corrosión o permeabilidad de la pared de la tubería a ciertos contaminantes. El diseño debe tener especial cuidado con aquellas tuberías cercanas a las estaciones distribuidoras de combustibles.

Se debe verificar todo lo establecido en el Reglamento Técnico de Tuberías, Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007 expedidas por el MAVDT, o las normas que las modifiquen, adicionen o sustituyan.

### 7.3.9 Pérdidas de agua en la red de distribución

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, desde la concepción del proyecto y la realización del diseño, debe tenerse en cuenta una distribución de la red que permita el control de las pérdidas de agua en ésta. Este control implica la localización de fugas no visibles en la red y la localización de conexiones clandestinas, cuyo objetivo es disminuir la cantidad de agua no facturada en la red. El programa de localización y reducción de pérdidas debe seguir las metas del Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua establecidas en la Ley 373 de 1997, o la que la modifique, adicione o sustituya, en su artículo 4º y debe estar acorde con las disposiciones de las CRA y las Corporaciones Regionales.

Esta sectorización de la red debe estar acompañada, en el caso del nivel de complejidad del sistema alto, de los correspondientes instrumentos telemétricos que permitan un control en tiempo real del consumo de agua en un sector de la red.

Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, se recomienda que exista, desde la etapa de diseño, una metodología para el control de pérdidas en la red.

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, deben poderse detectar las fugas y las conexiones clandestinas en la red de distribución a través de un programa de monitoreo, que incluya medidas de presión y caudal, utilización de geófonos y la comparación de las presiones medidas con las presiones teóricas calculadas mediante el uso de algún programa (software) comercial para el cálculo de las redes de distribución.

Se prefiere que las mediciones se realicen en horarios nocturnos o en horas de bajo consumo para lograr mayor eficiencia en los programas de control de pérdidas.

Debe existir un mínimo de 6 puntos para medición de la presión, más un punto por cada 60.000 habitantes. En el nivel de complejidad del sistema alto, las mediciones deben ser hechas utilizando telemetría.

En el uso de programas de computador, los datos de entrada para el cálculo de la localización de posibles fugas y conexiones clandestinas son los caudales de consumo registrados por la persona prestadora del servicio público

de acueducto para cada uno de los nodos de la red y las presiones medidas en algunos de los nodos de la red. Las presiones medidas para los caudales registrados deben compararse con las presiones que resultan de correr un modelo de la red de distribución sin tener en cuenta las fugas y las conexiones clandestinas. La diferencia entre las presiones calculadas y las presiones medidas debe utilizarse para localizar aquellas zonas o tuberías de la red en las cuales sea más probable la localización de las fugas y de las conexiones clandestinas. Estos datos deben ser enviados a la oficina operativa de la persona prestadora del servicio público de acueducto y guardados para ser enviados, en caso de ser requeridos, a la SSPD.

### 7.3.10 Vulnerabilidad de la red de distribución

Debe establecerse el nivel de vulnerabilidad de la red de distribución. En caso que por razones geológicas, topográficas, sísmicas o cualquier otro tipo de razón se considere que la red de distribución es altamente vulnerable, en el diseño debe tenerse en cuenta la facilidad y rapidez de reparación de la red en caso de daños. Debe tenerse especial cuidado en la sectorización de la red y en la facilidad del aislamiento de la red de acuerdo con lo establecido en el literal B.7.7, de este Título.

### 7.3.11 Confiabilidad de la red de distribución

Con el fin de aumentar la confiabilidad en la distribución del servicio de acueducto, para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto debe incorporarse en el diseño de redes nuevas de distribución o ampliación a redes existentes el concepto de resiliencia de la red. En general, se deben preferir aquellos diseños, que dentro de los que presenten niveles de evaluación socioeconómicas apropiados, sean los que representen redes con resiliencias superiores al 50%. De esta manera, se logran tener redes con respuestas más apropiadas ante eventos de falla de algunas de sus tuberías. La resiliencia de la red se basa en la siguiente ecuación.

$$P_{ent} = P_{int} + P_{sal} \quad (\text{B. 7.1})$$

donde:

- $P_{ent}$  = Potencia por unidad de peso de entrada (W).
- $P_{int}$  = Potencia por unidad de peso de operación del sistema ocasionada por los efectos de la fricción en las tuberías y la presencia de fugas en el mismo (W/kg).
- $P_{sal}$  = Potencia por unidad de peso entregada en los nodos de consumo (W/kg).

La potencia por unidad de peso total de entrada incluye la potencia por unidad de peso suministrada por una bomba más la suministrada por los embalses o tanques de entrada:

$$p_{inp} = \gamma \sum_{e=1}^{n_e} Q_e \times H_e + \sum_{i=1}^{n_{pu}} P_i \quad (\text{B. 7.2})$$

donde:

- $Q_e$  = Caudal de entrada suministrado por el embalse i ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- $H_e$  = Altura piezométrica de entrada suministrada por el embalse i (m).
- $n_e$  = Número de embalses.
- $P_i$  = Potencia por unidad de peso suministrada por la bomba i (W/kg).
- $n_{pu}$  = Número de bombas en la red.

La potencia por unidad de peso entregada en los nodos en términos de presión de servicio y caudal demandado ( $P_{sal}$ ) puede clasificarse de dos formas. La potencia por unidad de peso de entrega óptima ( $P_{sal\ max}$ ), debida a una presión de servicio mínima en los nodos de consumo, y la potencia por unidad de peso de entrega real ( $P_{sal\ real}$ ), debida a las presiones de entrega del servicio a partir de una configuración de tuberías. Esta última potencia corresponde a la calculada con los datos de caudales y alturas de presión de diseño para una red nueva o los caudales y las alturas de presión medidas en una red existente. En la Ecuación (B. 7.3) y en la Ecuación (B. 7.4) se muestran estas expresiones:

$$P_{sal} = \gamma \sum_{j=1}^{n_n} Q_j \times H_j \quad (\text{B. 7.3})$$

$$P_{sal}^{real} = \gamma \sum_{j=1}^{n_n} Q_j \times H_j^* \quad (\text{B. 7.4})$$

donde:

- $H_j$  = Altura de presión con la cual se satisface la demanda  $Q_j$  (m).
- $Q_j$  = Demanda en el nodo j ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- $n_n$  = Número total de nodos en la red.
- $H^*$  = Presión mínima requerida en cada uno de los nodos de consumo (m).

En la Ecuación (B. 7.1) se establece la expresión para la potencia por unidad de peso de operación del sistema de distribución, la cual corresponde a la diferencia entre la potencia por unidad de peso de entrada y la potencia por unidad de peso de entrega en los nodos de consumo.

$$P_{int} = P_{ent} - P_{sal} \quad (\text{B. 7.5})$$

Teniendo en cuenta que la potencia por unidad de peso de entrega se clasifica en una de entrega óptima y en una de entrega real del servicio, es posible definir las potencias por unidad de peso de operación óptima, Ecuación (B. 7.6) y de operación real de la red, Ecuación (B. 7.7).

$$P_{int}^{\max} = P_{ent} - P_{sal}^{\max} \quad (\text{B. 7.6})$$

$$P_{int}^{real} = P_{ent} - P_{sal}^{real} \quad (B. 7.7)$$

A partir de las ecuaciones enunciadas y con el fin de establecer el grado de eficiencia de entrega del servicio dada una configuración de tuberías, es posible integrar los conceptos mencionados a través del Índice de Resiliencia ( $I_r$ ), el cual define la relación entre la potencia por unidad de peso de operación real y la potencia por unidad de peso de operación óptima del sistema de distribución; por lo tanto es posible establecer el nivel de conservación de potencia presente en el sistema:

$$Ir = 1 - \frac{p_{int}^{real}}{P_{int}^{\max}} \quad (B. 7.8)$$

Al sustituir los valores apropiados se encuentra la expresión general para el Índice de Resiliencia de la red.

$$I_r = 1 - \frac{\left[ \gamma \sum_{e=1}^{n_e} (Q_e \times H_e)_i + \sum_{i=1}^{n_{pu}} P_i \right] - \gamma \sum_{j=1}^{n_n} Q_j \times H_j}{\left[ \gamma \sum_{e=1}^{n_e} (Q_e \times H_e)_i + \sum_{i=1}^{n_{pu}} P_i \right] - \gamma \sum_{j=1}^{n_n} Q_j \times H_j}. \quad (B. 7.9)$$

$$I_r = \frac{\gamma \sum_{j=1}^{n_n} Q_j \times (H_j - H_j^*)}{\left[ \gamma \sum_{e=1}^{n_e} Q_e \times H_e + \sum_{i=1}^{n_{pu}} P_i \right] - \gamma \sum_{j=1}^{n_n} Q_j \times H_j}. \quad (B. 7.10)$$

El cálculo de la resiliencia de la red se debe llevar a cabo utilizando el modelo hidráulico calibrado que opere la persona prestadora del servicio público domiciliario de acueducto del municipio.

### 7.3.12 Control de crecimiento y desprendimiento de biopelículas

Con el fin de evitar los eventos de deterioro de la calidad de agua en el sistema de distribución de agua potable, el diseño debe contemplar un control del crecimiento y desprendimiento de películas biológicas y/o de depósitos minerales, estableciendo una velocidad mínima de operación para la red de distribución. Esta velocidad mínima debe corresponder a las condiciones de operación hidráulica de caudal máximo horario en el momento de entrada en operación de la red de distribución.

### 7.3.13 Lavado para remoción de biopelículas

El diseño de la red de distribución de agua potable debe garantizar la realización de un lavado unidireccional de las tuberías. Dicho lavado consiste en producir caudales en una sola dirección en las tuberías que están siendo lavadas mediante la operación de hidrantes; éste se caracteriza por:

1. Remover las biopelículas formadas debido a las velocidades mínimas de flujo.
2. Remover las películas minerales o depósitos debido a las velocidades de flujo que maneja.
3. Generar un alto esfuerzo cortante.
4. Poner en movimiento los depósitos de material inorgánico al interior de la tubería.

Este lavado unidireccional debe desprender las biopelículas y los depósitos inorgánicos depositados al interior de la tubería. En caso que se opte por esta solución, el diseño debe establecer la forma de lavado de la red de distribución, utilizando ya sea el sistema de hidrantes contra incendios o las válvulas o tapones en los puntos muertos de la red en caso que estos existan. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, el lavado de la red de distribución debe coordinarse con el lavado de las redes de conducciones.

## 7.4 Parámetros de diseño

Dentro de la ejecución del diseño de un sistema de redes de distribución de agua potable es necesaria una etapa inicial de conceptualización y planeamiento que garantice que el esquema de obras propuesto atienda los requerimientos futuros de la demanda de agua en cuanto a cantidad, calidad y oportunidad.

En la etapa de planeamiento, se parte de un diagnóstico de la red de distribución existente y se identifican, plantean y analizan diferentes alternativas de optimización y ampliación del sistema de redes de tuberías, con el fin de atender los requerimientos futuros de la demanda, dentro de un determinado período de diseño.

Los parámetros de diseño constituyen los elementos básicos para el desarrollo del diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable. Es función del Viceministerio de Agua y Saneamiento, apoyado en la Junta Técnica Asesora del presente documento, establecer los mecanismos, procedimientos y metodologías para la revisión, la actualización y la aceptación de los parámetros y valores para el diseño de sistemas de acueducto.

### 7.4.1 Período de diseño

Para todos los niveles de complejidad del sistema, los proyectos de redes de distribución de acueducto deberán ser analizados y evaluados teniendo en cuenta el período de diseño, llamado también horizonte de planeamiento del proyecto, con el fin de definir las etapas de diseño según las necesidades del proyecto, basadas en la metodología de costo mínimo.

El período de diseño de las redes de distribución de agua potable es función del nivel de complejidad del sistema y se encuentra establecido en la siguiente tabla.

Tabla B. 7.1 Período de diseño según el nivel de complejidad del sistema para redes de distribución

Nivel de complejidad del sistema	Período de diseño
Bajo, Medio y Medio alto	25 años
Alto	30 años

## 7.4.2 Caudal de diseño

El caudal de diseño para todos los niveles de complejidad del sistema será el caudal máximo horario (QMH).

## 7.4.3 Calidad de agua en la red de distribución

Desde la etapa de diseño de una red de distribución de agua potable es necesario calcular la calidad de agua en cada uno de los nodos de la red, dando los niveles de cloro residual y de otros químicos, teniendo en cuenta la calidad del agua a la salida de las plantas de tratamiento y de los tanques de almacenamiento y/o compensación en los cuales puede existir la adición de químicos, para asegurar desde la etapa de diseño, que el agua distribuida cumple, en toda la red de distribución con lo establecido en el Decreto 1575 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o la norma que lo modifique, adicione o sustituya.

Los cálculos de calidad de agua deben incluir además del cloro residual, la edad del agua en cada nodo y la vida media del agua en la red. Con el fin de realizar dichos cálculos de calidad a todo lo largo de la red de distribución, se deben utilizar los coeficientes de decaimiento definidos en el literal B.6.4.4.7 de este Título, o aquellos determinados por la persona prestadora del servicio público de acueducto para un caso particular. En caso de que no exista información sobre los coeficientes de decaimiento, el consultor debe justificar la adopción de unos valores específicos, con la aprobación previa del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para el caso de los niveles de complejidad del sistema bajo y medio o de la persona prestadora del servicio público de acueducto para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto.

## 7.4.4 Desviación angular de las tuberías de la red de distribución

Las tuberías formadas por segmentos rectos pueden colocarse en curva, si es necesario, mediante la desviación angular de las tuberías en sus juntas, si estas son del tipo flexible. Sin embargo, para municipios situados en zonas de amenaza sísmica

alta no se recomienda desviar angularmente las tuberías en las uniones mecánicas, con el fin de mantener su flexibilidad y dar seguridad a la red. En el caso de juntas flexibles, la desviación angular máxima posible en cada junta, con excepción de las juntas con características especiales, será la indicada por el fabricante de la tubería pero nunca podrán ser superiores a los valores de la tabla B. 7.2.

**Tabla B. 7.2 Desviación angular máxima posible en tuberías**

Diámetro tubo (mm)	Desviación angular (grados-minutos)
300 y menores	3° 0'
400	2° 40'
450	2° 25'
500	2° 10'
600	1° 45'
750	1° 25'
900	1° 10'
1000 y mayores	1° 5'

En el caso de tuberías flexibles, éstas podrán ser deflectadas para formar curvas siguiendo lo establecido en las normas técnicas colombianas o en normas técnicas internacionales, en caso que las primeras no existan (Ver tabla B.6.22).

## 7.4.5 Materiales para las tuberías de la red de distribución

Para la construcción de una red de distribución de agua potable o la ampliación de una red existente, el diseño debe proponer el uso de alguno de los siguientes materiales:

1. Concreto con cilindro de acero (CCA).
2. Hierro dúctil (HD).
3. Hierro fundido (HF).
4. Polivinilo de cloruro (PVC).
5. Polivinilo de cloruro orientado (PVCO).
6. Polipropileno (PP).
7. Poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP).
8. Polietileno de alta densidad (PEAD).
9. Acero (AC), para los cruces, pasos elevados y empalmes previamente aprobados por la persona prestadora del servicio

público de acueducto del municipio o del Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial para el caso de los niveles de complejidad del sistema medio y bajo.

El diseño de la red de distribución nueva se debe hacer para todos aquellos materiales existentes en la zona del proyecto y que presenten una competitividad económica financiera, siempre teniendo en cuenta en la evaluación la condición de zanja además del precio de lista del tubo. El consultor podrá utilizar otros materiales, siempre y cuando se cuente con la aprobación expresa de la persona prestadora del servicio público de acueducto. Las personas prestadoras del servicio podrán incorporar nuevos materiales a este reglamento, siempre y cuando cumplan con las Normas Técnicas Colombianas NTC correspondientes, o en su defecto con normas técnicas ASTM, AWWA, ISO, DIN o cualquier otra entidad internacional de normalización. Además, para la selección de los materiales que conforman las tuberías de la red de distribución deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. Todas las tuberías deben cumplir con las especificaciones que se han elaborado para cada tipo de material en el Instituto Nacional de Normas Técnicas (ICONTEC) o bien con las normas AWWA, ISO, ASTM, DIN o cualquier otra agencia internacional reconocida. Para esto se debe seguir lo establecido en la tabla B.6.23 y en la tabla B. 6.24 de este reglamento.
2. Todas las tuberías deben cumplir lo establecido en el Reglamento Técnico de Tuberías, Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007 expedidas por el MAVDT, o las normas que las modifiquen, adicionen o sustituyan.
3. Los accesorios deben ser los recomendados por los fabricantes de las tuberías empleadas y deben cumplir con las normas técnicas del ICONTEC, de la AWWA, de la ISO, de la ASTM, de la DIN o cualquier otra agencia internacional reconocida en la normalización de manejo de agua potable.
4. La elección del material para la red de distribución debe efectuarse con base en las características topográficas, de agresividad del suelo con respecto al material de la tubería, presiones máximas y mínimas que deben lograrse en el diseño y en el análisis económico de costos de operación, mantenimiento, etc. Debe recordarse que el Reglamento Técnico de Tuberías exige a los fabricantes, importadores y comercializadores, que estén actualizados los catálogos con la información técnica mínima exigida en los mismos, razón por lo cual el consultor debe consultarlos para la toma de decisiones.
5. El diseño de la red de distribución puede incluir tramos de diferentes materiales, elegidos de conformidad con la persona prestadora del servicio público domiciliario de acueducto,

de acuerdo con su tipo de funcionamiento, operación y mantenimiento, condiciones de instalación en el terreno y esfuerzos actuantes. Similarmente, en el caso de ampliaciones/extensiones de redes de distribución existentes pueden utilizarse materiales diferentes para las tuberías nuevas. En lo posible debe evitarse la combinación de materiales metálicos. En el caso de que esto no sea posible, el diseño debe incluir los métodos de protección para asegurar que no existan problemas de corrosión galvánica u otro tipo de corrosión causados por diferencias de potencial eléctrico.

6. En los puntos de transición de los tramos de diferentes materiales deben disponerse elementos especiales tales como uniones de transición, juntas de montaje, juntas de expansión, uniones de reparación, etc., destinados a facilitar la unión de los tramos, impidiendo pérdidas de agua o generación de esfuerzo o cualquier otro fenómeno capaz de perjudicar la hidráulica del sistema. Igualmente, estos elementos especiales deben producir las menores pérdidas posibles de energía.

Adicionalmente, para la selección de los materiales de las tuberías de la red de distribución objeto del diseño deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

1. Toxicidad.
2. Resistencia contra la corrosión y agresividad del suelo.
3. Resistencia a los efectos mecánicos producidos por las cargas, tanto internas como externas.
4. Características de comportamiento hidráulico del proyecto (presiones normales de trabajo, presiones estáticas, presiones causadas por golpe de ariete).
5. Condiciones de instalación adecuadas al terreno de la zona del proyecto.
6. Condiciones económicas, teniendo en cuenta lo establecido en el estudio de generación de alternativas descrito en el literal B.7.4.12 de este documento.
7. Resistencia contra la tuberculización e incrustación de materiales inorgánicos en el interior de la tubería.
8. Vida útil de acuerdo con el diseño del proyecto.
9. Resistencia a la formación de biopelículas al interior de la tubería.

El material de las tuberías debe elegirse de acuerdo con las características que satisfagan las necesidades del proyecto, teniendo en cuenta no solamente uno o dos de los puntos antes indicados, sino examinándolos integralmente, considerando principalmente el costo de inversión inicial y los costos de mantenimiento así como la seguridad de la red de distribución.

Será responsabilidad del consultor escoger el material que mejor se adapte a las condiciones particulares de un proyecto.

## 7.4.6 Presiones en la red de distribución

Para todos los niveles de complejidad del sistema, desde la etapa de diseño se deben tener en cuenta los siguientes requisitos referentes a las presiones en los nodos de la red de distribución:

1. La presión dinámica mínima, para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio debe ser de 98.1 kPa (10 m.c.a.).
2. La presión dinámica mínima para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto debe ser 147.2 kPa (15 m.c.a.).
3. Para todos los niveles de complejidad del sistema la presión estática máxima debe ser de 490.5 kPa (50 m.c.a.)
4. La red de distribución debe estar subdividida en tantas zonas de presión como se requieran para cumplir con las anteriores condiciones de presión.
5. Las personas prestadoras del servicio, deben garantizar la prestación de éste únicamente a edificaciones hasta con 10 metros de altura. Los edificios con alturas mayores deben contar con su propio sistema hidroneumático o de aumento de la presión interna acompañados por su propio tanque de succión. En ningún momento, y para ninguno de los niveles de complejidad del sistema se permite el bombeo directo desde la red de distribución.
6. En una misma zona de presión se pueden presentar presiones estáticas mayores a la máxima definida y presiones dinámicas menores a la mínima fijada siempre y cuando el diseño cumpla con lo siguiente:
  - a) El área a abastecer con una presión estática superior a 490.5 kPa (50 m.c.a.) puede corresponder al 10% del área de la zona de presión, desde que no se sobrepase una presión de 539.6 kPa (55 m.c.a.) y hasta el 5% del área de la zona de presión desde que no se sobrepase una presión de 588.6 kPa (60 m.c.a.).
  - b) Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, el área a abastecer con una presión dinámica inferior a 147.2 kPa (15 m.c.a.) puede corresponder hasta el 10% del área siempre y cuando que la presión mínima sea superior a 132.4 kPa (13.5 m.c.a.) y hasta el 5% del área de la zona de presión, siempre que la presión mínima sea superior a 117.7 kPa (12 m.c.a.).
  - c) Para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, el área a abastecer con una presión dinámica inferior a 98.1 kPa (10 m.c.a.) puede corresponder hasta el 10% del área, siempre

que la presión mínima sea superior a 88.3 kPa (9 m.c.a.) y hasta el 5% del área de la zona de presión, siempre que la presión mínima sea superior a 78.5 kPa (8 m.c.a.).

La referenciación de las presiones estáticas y dinámicas se debe hacer con respecto al nivel de agua máximo en los tanques para la primera y el nivel de agua mínimo para la segunda.

En los casos anteriores la presión dinámica mínima debe corresponder al análisis de la red de distribución bajo el caudal máximo horario (QMH) para la población de diseño futura, la población de saturación o la proyección de suscriptores en la zona objeto del diseño de la red de distribución. La presión dinámica máxima corresponde a las presiones obtenidas bajo condiciones de flujo mínimo en el momento de entrar en funcionamiento la red de distribución de agua potable.

## 7.4.7 Diámetros de las tuberías en la red de distribución

### 7.4.7.1 Diámetros nominales mínimos en la red matriz

Para todos los niveles de complejidad del sistema, los diámetros nominales mínimos para la red matriz se describen en la tabla B. 7.3.

Tabla B. 7.3 Diámetros nominales mínimos de la red matriz

Nivel de Complejidad del Sistema	Diámetro mínimo
Bajo y Medio	100 mm
Medio Alto	150 mm
Alto	300 mm

El consultor debe realizar los cálculos necesarios que permitan garantizar que, con el diámetro interno real de la tubería seleccionada, se cumplen las condiciones de diseño establecidas.

### 7.4.7.2 Diámetros nominales mínimos en las redes menores de distribución

El valor del diámetro nominal mínimo de las redes menores de distribución depende del nivel de complejidad del sistema y del uso del agua, tal como se muestra en la tabla B. 7.4.

**Tabla B. 7.4 Diámetros nominales mínimos de la red menor de distribución**

Nivel de Complejidad del Sistema	Diámetro mínimo		
Bajo y Medio	50 mm		
Medio Alto	100 mm	En zonas comerciales e industriales	62.5 mm En zonas residenciales
Alto	150 mm	En zonas comerciales e industriales	75 mm En zonas residenciales

El consultor debe realizar los cálculos necesarios que permitan garantizar que, con el diámetro interno real de la tubería seleccionada, se cumplen las condiciones de diseño establecidas.

#### 7.4.7.3 Diámetros para el cálculo hidráulico de la red

Para el cálculo hidráulico y el diseño de la red de distribución, se deben utilizar los diámetros reales internos de las tuberías para cada uno de los materiales que podrían formar la red de distribución.

Debido a que los diámetros internos reales son función del material de la tubería y de su relación diámetro espesor, el cálculo hidráulico de la red de distribución se debe hacer tantas veces como materiales, que cumplan con las condiciones particulares del proyecto, haya disponibles para las tuberías de la red.

#### 7.4.7.4 Diámetro de hidrantes

Los diámetros mínimos de los hidrantes contra incendios, colocados en la red de distribución de agua potable, dependen del nivel de complejidad del sistema, tal como se especifica en la tabla B. 7.5:

**Tabla B. 7.5 Diámetros mínimos de los hidrantes contra incendios**

Nivel de Complejidad del Sistema	Diámetro mínimo
Bajo y Medio	75 mm
Medio Alto	75 mm En zonas residenciales con densidades menores a 200 Hab/ha. 100 mm En sectores comerciales e industriales o zonas residenciales con alta densidad.

#### 7.4.8 Velocidades en las tuberías de la red de distribución

La velocidad máxima en las tuberías de la red de distribución, bajo condiciones de caudal máximo horario (QMH) al final del período de diseño,

o bajo condiciones excepcionales de mantenimiento o de protección contra incendios, debe ser función del material de las tuberías. En la tabla B. 7.6 se plantean las velocidades máximas recomendadas para las tuberías en la red de distribución.

**Tabla B. 7.6 Velocidades máximas según material de tuberías**

Material	Velocidad (m/s)
Acero sin revestimiento	5.0
Acero con revestimiento	4.0
Hierro dúctil	4.0
CCP	3.0
PVC y PVCO	6.0
PEAD	5.0
GRP	6.0
Polipropileno	6.0

En caso que en el diseño se proponga el uso de un material diferente para las tuberías, el consultor debe justificar el valor máximo supuesto para la velocidad ante la persona prestadora del servicio público de acueducto, para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto y ante el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo.

Los valores de la velocidad máxima permisible deben justificarse, nuevamente en la etapa de diseño, teniendo en cuenta los manuales técnicos de los fabricantes de las tuberías, y deben ser aprobados por la persona prestadora del servicio público de acueducto.

El Viceministerio de Agua y Saneamiento del MAVDT, en conjunto con la Junta Técnica Asesora del RAS debe establecer los mecanismos, procedimientos y metodologías para la revisión, actualización y aceptación de los valores apropiados de la velocidad máxima permisible para propósitos de diseño de redes de distribución.

El diseño debe limitar la velocidad mínima a 0.5 m/s, correspondiente al caudal máximo horario (QMH) en el momento de entrada en operación de la red.

#### 7.4.9 Velocidades para remoción de biopelículas

Con el fin de desprender películas biológicas y depósitos inorgánicos al interior de las tuberías de la red de distribución, se debe garantizar una velocidad de lavado de las tuberías que no sea inferior a 1.8 m/s. Estas velocidades se deben alcanzar ya sea utilizando los hidrantes o válvulas especiales y/o tapones removibles en puntos muertos de la red.

Adicionalmente, el diseño debe optimizar el tipo y frecuencia de lavado a través de los hidrantes que conforman la red de distribución, con el fin de controlar el desprendimiento de películas biológicas o resuspensión de materiales inorgánicos depositados al interior de las tuberías. El diseño de las operaciones de lavado debe llevarse a cabo utilizando un modelo matemático de la red de distribución de agua potable, en conjunto con rutinas que hagan uso de ecuaciones de restricción que permitan obtener la máxima velocidad en las tuberías objeto de la limpieza, según se establece en el literal B.7.5.2.

## 7.4.10 Pendientes en las tuberías de la red de distribución

Con el objeto de permitir la acumulación del aire en los puntos altos y su eliminación por las válvulas colocadas con este fin y para facilitar el arrastre de los sedimentos hacia los puntos bajos y acelerar el desagüe de las tuberías, éstas no deben colocarse horizontalmente.

Las pendientes mínimas recomendadas son:

- Cuando el aire circula en el sentido del flujo del agua, la pendiente mínima debe ser 0.04%.
- Cuando el aire circula en sentido contrario al flujo del agua, la pendiente mínima debe ser 0.1%.

En este último caso, la pendiente no debe ser menor que la pendiente de la línea piezométrica o línea de gradiente hidráulico de ese tramo de la red de distribución.

Cuando sea necesario uniformizar pendientes a costa de una mayor excavación, con el fin de evitar un gran número de ventosas y válvulas de purga, debe realizarse una comparación económica de ambas posibilidades.

## 7.4.11 Profundidad de instalación de las tuberías a cota clave

Las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable deben colocarse teniendo en cuenta los siguientes requisitos sobre profundidades:

### 7.4.11.1 Profundidad mínima

1. En todos los casos donde exista la posibilidad de flujo vehicular, la profundidad mínima a la cual deben colocarse las tuberías de la red de distribución no debe ser inferior a 1.0 m medidos desde la cota de clave de la tubería hasta la superficie del terreno. Esta profundidad mínima se puede reducir hasta 0.6 m teniendo

en cuenta el tipo de material de la tubería y siempre bajo la aprobación de la persona prestadora del servicio público de acueducto.

2. Para aquellos casos críticos de construcción donde sea necesario colocar la clave de la tubería entre 0.6 y 1.0 m de profundidad, debe realizarse un análisis estructural para construir obras de protección de redes, teniendo en cuenta las cargas exteriores debidas al peso de la tierra, cargas vivas, impacto y otras que puedan presentarse durante el proceso de construcción. Se exceptúan las zonas donde se garantice que no habrá flujo vehicular, previa aprobación de la oficina de planeación municipal o la persona prestadora del servicio público de acueducto.
3. En todos los casos donde se tengan senderos o accesos peatonales sin posibilidad de flujo vehicular, la profundidad mínima a la cual deben colocarse las tuberías de la red de distribución no debe ser inferior a 0.6 m medidos desde la clave de la tubería hasta la superficie del terreno. Esta profundidad mínima se puede reducir hasta 0.45 m teniendo en cuenta el tipo de material de la tubería y siempre bajo la aprobación de la persona prestadora del servicio público de acueducto.
4. En caso que la red de distribución se vea sometida a algún tipo de sumergencia temporal, el consultor debe tener en cuenta que podrán ocurrir levantamientos locales debidos a la subpresión, cuando la tubería se encuentre vacía, durante operaciones de mantenimiento. En este caso el diseño debe prever la colocación de las correspondientes protecciones.

Todos los pasos sobre quebradas, ríos, canales, depresiones u otras estructuras deben estar enterrados hasta donde sea posible, con el fin de minimizar los pasos aéreos a los estrictamente necesarios, teniendo en cuenta aspectos de seguridad, vulnerabilidad, estética y menor costo de instalación, manteniendo el mismo material de la red de distribución. Se recomienda que estos cruces estén acompañados por estructuras especiales tales como las descritas en el literal B.6.7.7.

#### 7.4.11.2 Profundidad máxima

En términos generales, la profundidad máxima de las tuberías que conforman la red de distribución, para todos los niveles de complejidad del sistema, no debe exceder los 1.5 m de profundidad medidos desde la cota de clave de la tubería hasta la superficie del terreno. Casos diferentes a éste deben contar con la aprobación previa de la persona prestadora del servicio público de acueducto o de la oficina de planeación municipal.

## 7.4.12 Generación de alternativas

Siempre que se diseña una red de distribución de agua potable, existe una gran cantidad de combinaciones de tuberías (diámetros y materiales diferentes) que cumplen con las condiciones particulares de cada proyecto, y las condiciones hidráulicas de caudal demandado y de presión mínima en cada punto de la red. Por consiguiente, para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto el diseño de la red de distribución debe buscar la alternativa óptima económica de combinación de los diferentes diámetros que cumplan con todas las restricciones hidráulicas y técnicas. El diseño debe realizarse para los materiales que cumplan lo establecido en el literal B.7.4.5 del presente documento y el cálculo del diámetro de cada alternativa debe realizarse siguiendo lo establecido en el literal B.7.5.4.

Las alternativas así generadas, con base en criterios hidráulicos, de operación y mantenimiento de la red deben ser evaluadas dentro de un proceso de optimización financiera que permita escoger aquella de menor costo, la cual debe ser objeto del diseño definitivo.

Para el cálculo del diseño óptimo económico que cumpla con las restricciones hidráulicas, se podrá utilizar cualquier programa comercial de análisis de redes que incluya el diseño optimizado mediante técnicas de inteligencia artificial, tales como algoritmos genéticos, lógica difusa, sistemas expertos, etc.

La optimización del diseño de la red de distribución se debe hacer minimizando el valor presente neto incluyendo los costos de los materiales y tuberías, los costos de instalación, los costos de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto y los costos del agua perdida por motivos técnicos a lo largo de la vida útil del proyecto. Igualmente, en el proceso de optimización se debe verificar la restricción de calidad del agua, la cual debe cumplir en todo momento lo establecido por el Decreto 1575 de los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y sus reglamentarios, o las normas que los modifiquen, adicionen o sustituyan.

Una vez escogido el diseño óptimo de la red de distribución se debe seguir, durante la etapa de diseño definitivo, el análisis de costo mínimo que permita establecer los períodos de expansión óptimos de esta nueva red de distribución.

Lo establecido en este literal se recomienda para las niveles de complejidad del sistema bajo y medio.

# 7.5 Diseño de las redes de distribución

## 7.5.1 Diseño hidráulico de las redes de distribución

El cálculo hidráulico de la red de distribución de agua potable debe realizarse tanto para las condiciones iniciales o actuales de consumo, como para las condiciones de consumo correspondientes al período de diseño de la red.

Igualmente, se recomienda que en el diseño se realice el cálculo hidráulico tanto para flujo permanente como para condiciones de período extendido que cubran los diferentes días de la semana con sus curvas de consumo particulares. El diseño de una red de distribución nueva o la ampliación a una red de distribución existente incluye no solamente el cálculo del diámetro de la tubería, sino también un análisis hidráulico de su interacción con la red de distribución existente; por consiguiente, el diseño hidráulico de la red debe estar basado en los siguientes puntos:

1. Las ecuaciones que tienen que ser resueltas para el diseño deben ser las ecuaciones de balance de masa en los nodos y las ecuaciones de conservación de energía en los circuitos.
2. El método de cálculo de redes de tuberías debe incluir el caso de las redes cerradas y abiertas y debe estar basado en el método del gradiente para el cálculo de redes hidráulicas.
3. Los cálculos hidráulicos deben realizarse con el diámetro interno real tanto para las tuberías existentes como para las tuberías objeto del diseño.
4. El diseño hidráulico debe utilizar un método de cálculo que tenga en cuenta todos los accesorios que causen pérdidas menores relevantes tanto en las tuberías existentes como en la tubería objeto del diseño. Cada accesorio debe tener su coeficiente de pérdidas menores.

Para el análisis hidráulico de las redes de distribución antes mencionado, y con propósitos de control hidráulico y de monitoreo de las redes de distribución en sus etapas de operación y mantenimiento, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Simulación de todas las condiciones operacionales normales y de emergencia, definiendo el régimen de presiones y caudales a todo lo largo de la red. Este análisis puede incluir las operaciones de lavado para control de biopelículas y de depósitos inorgánicos al interior de la red.
2. Análisis de golpe de ariete que tenga en consideración todos los efectos hidráulicos de flujo no permanente causados por la operación normal de la red, operaciones bajo condiciones de mantenimiento y emergencia, incluyendo el posible estallido de la tubería.

## 7.5.2 Modelo hidráulico de la red e implementación

El diseño de la red de distribución debe incluir su modelación matemática de tal forma que permita entender la hidráulica para cualquier condición de operación o cualquier condición de emergencia. En particular el modelo hidráulico debe permitir establecer reglas de operación de las redes

de distribución, bajo condiciones normales de operación o bajo condiciones especiales de mantenimiento y/o emergencia, incluyendo la interacción de las redes que conforman diferentes circuitos y subcircuitos.

El modelo matemático debe implementarse en cualquier programa de análisis hidráulico de redes de acueducto que utilice el método del gradiente en sus cálculos y permita el uso de las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Colebrook-White; también debe permitir el uso de la ecuación de Hazen-Williams teniendo en cuenta su rango de validez. Adicionalmente debe seguir lo establecido en los literales B.7.5.4 y B.7.5.5.

El modelo hidráulico de la red de distribución debe tener en cuenta los siguientes puntos:

1. El diseño debe hacer uso de programas para el cálculo hidráulico de la red que utilice el método del gradiente para el análisis de la hidráulica de ésta. En lo posible, el programa debe tener capacidad de análisis para período extendido, y se recomienda que incluya rutinas para la optimización de diseños hidráulicos mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial, tales como algoritmos genéticos, lógica difusa y sistemas expertos. Es deseable también que el programa pueda realizar análisis de calidad de agua en la red, tanto para flujo permanente como para flujo de período extendido, haciendo uso de coeficientes de decaimiento de sustancias químicas tanto por reacción con las paredes de las tuberías como por reacciones en el cuerpo de agua.
2. De todas formas, el método de cálculo y el programa utilizado para el análisis hidráulico de la red de distribución debe permitir el análisis de líneas abiertas, en conjunto con el análisis de redes cerradas.
3. El programa utilizado en el diseño de la red de distribución debe permitir su diseño optimizado. Esto quiere decir que los diámetros resultantes para cada una de las tuberías que conforman la red de distribución son fijados por una función de minimización de costos que incluya los costos de materiales, los costos de instalación y los costos de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto. También deben tenerse en cuenta aspectos de calidad de agua en la red, con el fin de garantizar que en todo momento se cumpla con lo establecido en el Decreto 1575 de los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o la norma que lo modifique, adicione o sustituya.
4. Para el cálculo de la red, el programa utilizado debe hacer uso de las ecuaciones de pérdidas de energía en una tubería simple y de pérdidas de energía causada por los accesorios, tal como se establece en el literal B.7.5.4 de este documento.

5. Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, si la entidad contratante del proyecto lo considera necesario, puede requerir que el programa utilizado para la simulación de la hidráulica de la red de distribución pueda comunicarse con los demás programas utilizados por la persona prestadora del servicio público de acueducto. En particular, es deseable que el programa de cálculo hidráulico pueda comunicarse con el sistema de información geográfico establecido para el municipio.
6. Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, en el caso de ampliaciones o extensiones a las redes de distribución existentes, o para plantear reglas para su operación, o en el caso de redes existentes, el programa para el cálculo de la hidráulica de la red de distribución debe contar con rutinas de calibración de redes, con el fin de obtener los diámetros reales internos, los coeficientes de pérdidas menores y las rugosidad absolutas de las tuberías existentes. Desde el proceso de diseño, el diseñador debe establecer la forma de calibración del modelo hidráulico, la cual debe hacer uso de técnicas de inteligencia artificial, tales como algoritmos genéticos, lógica difusa, sistemas expertos y otros. Para la calibración se debe hacer uso de la base de datos de medidas telemétricas de caudales, velocidades, presiones y altura de la línea piezométrica en los diferentes puntos de medición localizados a todo lo largo de las líneas de distribución. En lo posible el modelo hidráulico adaptado para el diseño y la operación de las redes de distribución debe contar con una rutina automática de calibración. En caso que existan fugas importantes en la red, la rutina de calibración debe ser capaz de localizarlas simulándolas como emisores en cada uno de los nodos, dando el coeficiente y el exponente de la ecuación de cada emisor.

Los datos que es conveniente que se tengan en cuenta para generar el modelo hidráulico de la red de distribución son, entre otros los siguientes:

1. Datos de catastro de la red de distribución existentes en la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio.
2. Datos sobre los diámetros internos reales de todos los tipos de tuberías y los coeficientes de fricción o rugosidad absoluta de cada una de ellas.
3. Coeficientes de pérdidas menores de todos los accesorios que conforman las redes de distribución.
4. Ecuaciones y coeficientes de cada una de las válvulas que forman parte de la red de distribución, en particular las válvulas a la salida de los tanques de almacenamiento y/o compensación y válvulas reguladoras de presión en caso que existan.

5. Asignación de caudales, controles (horas de cierre en elementos) y factores de consumo (curvas de consumo).

El uso de un modelo hidráulico de redes de distribución para diseño de redes nuevas o ampliaciones/extensiones a redes existentes es obligatorio para todos los niveles de complejidad del sistema.

### 7.5.3 Cálculo de caudales por nodo

Para propósitos de diseño de nuevas redes de distribución de agua potable, la determinación de los caudales de consumo para cada uno de los nodos de la red debe efectuarse utilizando alguno de los siguientes tres métodos:

#### 1. Método de las áreas

En este método se determinan las áreas de influencia correspondientes a cada uno de los nodos de la red, para luego aplicar el caudal específico unitario (en litros por segundo por hectárea L/s/ha) determinado para cada tipo de uso de abastecimiento y correspondiente al período de diseño del proyecto.

Se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$Q_i = A_i \times Q_e \quad (\text{B. 7.11})$$

donde:

- $Q_i$  = Caudal de consumo en el nodo i (L/s).
- $Q_e$  = Caudal específico por unidad de superficie (L/s/ha).
- $A_i$  = Área de influencia o área abastecida por el nodo i (ha).

El área de influencia es aquella delimitada por cada una de las mediatrices de los tramos que llegan al nodo o punto singular, generando los polígonos de Thiessen. Sin embargo, el área de influencia puede no obedecer a una distribución por mediatrices debido a características topográficas, hidrográficas u otras, particulares de la zona de la red de distribución; en estos casos, el consultor debe justificar un método particular de selección de las áreas de influencia en los tramos.

#### 2. Método de la carga unitaria

Este método incluye el conteo de suscriptores (o hectáreas con un uso de tierra dado, o un número de unidades de consumo) que contribuyen a la demanda de agua en un nodo dado y luego multiplicarlo por una demanda unitaria aplicable a la clasificación de consumo; por ejemplo, se puede utilizar el concepto de dotación en L/Hab/día.

#### 3. Método de la repartición media

Mediante este método se definen en principio los caudales de consumo en cada uno de los tramos de toda la red de distribución (tuberías principales,

tuberías secundarias y ramales abiertos) y se asignan los caudales de las tuberías y ramales abiertos de acuerdo con una distribución lógica de flujo. Dichos caudales se reparten por mitades a cada uno de los nodos extremos de los tramos respectivos.

Los tres métodos anteriormente expuestos deben aplicarse también para el caso de ampliaciones/extensiones a redes de distribución existentes. Para las zonas existentes de la red, los caudales de consumo en cada nodo se calculan teniendo en cuenta la distribución espacial de predios tomada de los planos de catastro de los municipios o de la parte del municipio objeto del diseño, asignando cada predio a un nodo particular de consumo de la red de distribución de agua potable mediante el uso de un programa de asignación de nodos basado en un sistema de información geográfica. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto los caudales en cada nodo se deben calcular teniendo en cuenta la información comercial de consumo de agua potable existente en la persona prestadora del servicio público de acueducto para cada uno de los suscriptores asignados a dicho nodo, teniendo en cuenta el consumo mensual y la curva de demanda de agua medida por la persona prestadora del servicio público de acueducto para la red existente. Finalmente, el caudal de cada nodo debe afectarse por un factor calculado de acuerdo con la proyección de suscriptores de la persona prestadora del servicio público de acueducto o la proyección de población al final del periodo de diseño.

Para el caso de redes existentes que vayan a ser objeto de una ampliación, y para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, se puede incluir lo siguiente:

1. Identificación de las coordenadas X, Y, Z de cada usuario.
2. Identificación de las coordenadas X, Y, Z de cada nodo, dentro del sistema de información geográfica existente en la persona prestadora del servicio público de acueducto.
3. Conocer el volumen de agua consumido por cada suscriptor en los últimos 6 meses.
4. Conocer la curva de consumo de agua potable típica del municipio o de la zona del municipio objeto del diseño.

## 7.5.4 Cálculo hidráulico de tuberías simples

### 7.5.4.1 Cálculo de las pérdidas por fricción

Para el cálculo hidráulico y la determinación de las pérdidas por fricción en las tuberías a presión, el diseño debe utilizar la ecuación de Williams & Hazen, teniendo en cuenta su rango de validez, ó la ecuación de Darcy-Weisbach, en conjunto con la ecuación de Colebrook-White. Estas ecuaciones son:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (\text{B. 7.12})$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (B. 7.13)$$

donde:

- D = Diámetro interno real de la tubería (m).
- f = Coeficiente de fricción de Darcy (adimensional).
- $h_f$  = Pérdida de altura debida a la fricción (m).
- $k_s$  = Rugosidad absoluta de la tubería (m).
- L = Longitud total de la tubería (m).
- Re = Número de Reynolds (adimensional).
- v = Velocidad media del flujo (m/s).
- g = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

La ecuación de Darcy-Weisbach, en conjunto con la ecuación de Colebrook-White, es adecuada para todos los tipos de flujo turbulento, desde flujo turbulento hidráulicamente liso hasta flujo turbulento hidráulicamente rugoso. Para el uso de esta ecuación universal en conductos a presión, el diseño debe tener en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.5.4 de éste documento. Adicionalmente se deben tener en cuenta las rugosidades absolutas de los diferentes materiales de tuberías establecidos en la tabla B. 6.29 de este documento.

Alternativamente se podrá hacer uso de la ecuación de Hazen-Williams teniendo en cuenta sus limitaciones en términos de los diámetros mínimos y máximos de las tuberías, de la temperatura del agua y de las velocidades máximas y mínimas del flujo (número de Reynolds).

#### 7.5.4.2 Cálculo de las pérdidas menores

Para el cálculo del flujo en las tuberías de la red de distribución debe considerarse el efecto producido por cada uno de los accesorios colocados en cada tubería y que produzcan pérdidas de energía adicionales, tales como válvulas, codos, reducciones, ampliaciones, etc. Si las uniones no implican cambios localizados en el diámetro, no deben tenerse en cuenta para el cálculo de las pérdidas menores. Para el cálculo de dichas pérdidas, debe utilizarse un coeficiente de pérdidas menores multiplicado por la altura de velocidad, en el sitio donde se localice el accesorio. Para esto debe utilizarse la Ecuación (B. 7.14).

$$h_m = k_m \times \frac{v^2}{2g} \quad (B. 7.14)$$

donde:

- g = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).
- $h_m$  = Altura de pérdidas menores (m).
- v = Velocidad media del flujo (m/s).
- $k_m$  = Coeficiente de pérdida menor (adimensional).

Para el cálculo de las pérdidas menores debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.5.4.2 de este Título, en particular a lo referente a los coeficientes de pérdidas menores de cada uno de los accesorios. En caso de tener accesorios diferentes a los establecidos en dicho literal, el consultor debe proponer los coeficientes de pérdidas menores correspondientes, previa aprobación de la persona prestadora del servicio público de acueducto en el municipio.

## 7.5.5 Calidad de agua

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, y como recomendación para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, se debe hacer, desde la etapa de diseño, una modelación de la calidad del agua y su evolución en las redes de distribución, partiendo desde los tanques de almacenamiento y/o compensación y llegando hasta el último usuario, entendiéndose éste como aquel que presenta el máximo tiempo de vida del agua en la red.

La modelación del cloro residual dentro de un sistema de distribución de agua potable está basada en tres principios:

- Conservación de la masa dentro de longitudes diferenciales de la tubería.
- Mezcla completa e instantánea del agua en cada uno de los nodos de la red.
- Expresión apropiada de la cinética para el decaimiento del cloro y su flujo a través de la tubería y los tanques que conformen el sistema.

El cambio en la concentración se expresa mediante la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -v \frac{\partial c}{\partial x} - k_b \cdot c - \frac{k_w \cdot k_f \cdot c}{R(k_w + k_f)} \quad (\text{B. 7.15})$$

donde:

- v = Velocidad media del flujo en la tubería (m/s).  
 c = Concentración de cloro en la masa de agua (mg/L).  
 R = Radio hidráulico de la tubería (m).  
 t = Tiempo (s).  
 x = Abscisa o distancia horizontal (m).  
 $k_w$  = Coeficiente de reacción con la pared de la tubería ( $s^{-1}$ ).  
 $k_b$  = Coeficiente de reacción con el volumen de agua ( $s^{-1}$ ).  
 $k_f$  = Coeficiente de transferencia de masa (m/s).

El coeficiente de transferencia de masa ( $K_f$ ) es usado para determinar la tasa a la cual el desinfectante es transportado y se calcula por medio de la Ecuación (B. 7.16).

$$k_f = \frac{S_H \cdot d}{D} \quad (\text{B. 7.16})$$

donde:

$S_H$  = Número de Sherwood (Adimensional).

D = Diámetro de la tubería (m).

d = Difusividad molecular del cloro en el agua ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

En flujo laminar completamente desarrollado ( $\text{Re} < 2300$ ), el número de Sherwood puede calcularse mediante la Ecuación (B. 7.17).

$$S_H = 3.65 + \frac{0.0668 \left( \frac{D}{L} \right) \cdot (\text{Re}) \cdot \left( \frac{\nu}{d} \right)}{1 + 0.04 \left[ \left( \frac{D}{L} \right) \cdot (\text{Re}) \cdot \left( \frac{\nu}{d} \right) \right]^{\frac{2}{3}}} \quad (\text{B. 7.17})$$

donde:

$\text{Re}$  = Número de Reynolds (adimensional).

D = Diámetro de la tubería (m).

d = Difusividad molecular del cloro en el agua ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

L = Longitud de la tubería (m).

$\nu$  = Viscosidad cinemática del agua ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

Para condiciones de flujo turbulento ( $\text{Re} > 2300$ ), el número de Sherwood se calcula mediante la Ecuación (B. 7.18).

$$S_H = 0.023 \text{Re}^{0.83} \left( \frac{\nu}{d} \right)^{0.333} \quad (\text{B. 7.18})$$

donde:

$\text{Re}$  = Número de Reynolds (adimensional).

D = Diámetro de la tubería (m).

d = Difusividad molecular del cloro en el agua ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

L = Longitud de la tubería (m).

$\nu$  = Viscosidad cinemática del agua ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

Con el objetivo de poder solucionar la anterior ecuación diferencial, es necesario que el consultor o la persona prestadora del servicio público de acueducto conozca la concentración inicial de cloro en el tanque de almacenamiento y/o compensación que va a alimentar la red de distribución, para todos los instantes del tiempo, al igual que los coeficientes de decaimiento o las tasas a las cuales reacciona el cloro dentro del sistema.

La siguiente ecuación representa la concentración de cloro residual que está saliendo de un nodo particular y entrando a la tubería:

$$C_{ij@x=0} = \frac{\sum_k Q_{ki} C_{kj@x=L}}{\sum_k Q_{kj}} \quad (\text{B. 7.19})$$

donde:

$C_{ij}@x=0$  = Concentración al inicio de la tubería que conecta el nodo i al nodo j (mg/L).

$C_{kj}@x=L$  = Concentración al final de una tubería (mg/L).

$Q_{kj}$  = Caudal desde k a i ( $m^3/s$ ).

Los tanques de almacenamiento y/o compensación deben ser modelados como reactores con mezcla completa y con volumen variable, en los cuales los cambios de volumen y de concentración del cloro residual, como función del tiempo, se establecen mediante las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dV_s}{dt} = \sum_k Q_{ks} - \sum_i Q_{sj} \quad (B.7.20)$$

$$\frac{dVC_s}{dt} = \sum_k Q_{ks} C_{ks}@x=L - \sum_i Q_{sj} C_s + k_{if}(C_s) \quad (B.7.21)$$

donde:

$C_s$  = Concentración en el tanque (mg/L).

$dt$  = Cambio en el tiempo (s).

$Q_{ks}$  = Caudal desde el nodo k al nodo s ( $m^3/s$ ).

$Q_{sj}$  = Caudal desde el nodo s al nodo j ( $m^3/s$ ).

$dV_s$  = Cambio en el volumen del tanque ( $m^3$ ).

$V$  = Volumen del tanque ( $m^3$ ).

$C_{ks}$  = Concentración de cloro en las tuberías (mg/L).

$k_{if}$  = Coeficiente de decaimiento entre los nodos i y j ( $s^{-1}$ ).

## 7.5.6 Recubrimiento y protección de tuberías

### 7.5.6.1 Recubrimientos

En caso que existan razones geotécnicas, geológicas o que eventualmente las tuberías crucen zonas con un alto potencial de contaminación, al igual que en puntos tales como cruces de quebrada y otros cuerpos de agua que obliguen a que las tuberías de la red de distribución queden expuestas, éstas deben estar protegidas con revestimientos externos para los cuales se debe seguir lo establecido en el literal B.6.5.7 de este Título.

### 7.5.6.2 Corrosión

Las tuberías de las redes de distribución de agua potable son vulnerables a la corrosión interna y externa. La corrosión externa se debe fundamentalmente al grado de corrosividad del suelo, determinada por variables como el contenido de agua, el pH, el grado de aireación, el potencial redox y el contenido de cloruros y sulfatos. La corrosión interna genera el deterioro de la pared interna

de la tubería o del revestimiento debido a reacciones con el agua conducida; este deterioro puede presentarse debido a acciones físicas que desgastan la superficie del tubo, la disolución química que lixivia el material de la pared, o reacciones electroquímicas que eliminan el metal de la pared de la tubería.

El principal método para el control de la corrosión externa, es el empleo de recubrimientos, estos deben utilizarse en caso que exista riesgo de corrosión en tuberías metálicas, particularmente en aquellos lugares en los que se haya detectado, como parte del diseño, suelos agresivos hacia ese tipo de tuberías.

Para el control de la corrosión interna de las tuberías, se puede optar por modificar la calidad del agua de tal forma que ésta sea menos corrosiva, cambiar el material de la tubería por otros menos propensos a la corrosión o utilizar revestimientos internos, en los dos últimos casos debe cumplir lo establecido en el Reglamento Técnico de Tuberías, Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007 del MAVDT o las normas que la sustituyan, modifiquen o adicionen.

## 7.5.7 Golpe de ariete en las redes de distribución

Una vez que haya finalizado el proceso de diseño de la red de distribución, y para todos los niveles de complejidad del sistema, se debe hacer un análisis del golpe de ariete con el fin de verificar que en ninguna de las tuberías que conforman la red se produzcan presiones por encima de las admisibles para los materiales de las tuberías, evitando posibles estallidos de ésta.

También debe verificarse que en ninguna de las tuberías se produzcan presiones manométricas negativas, debida a los transientes hidráulicos, con el fin de evitar el posible ingreso de agua externa a la red de distribución de agua potable. Este análisis se debe hacer para aquellos sectores y subsectores que tengan al menos una tubería con una velocidad para la condición de caudal máximo horario al final del periodo de diseño, superior a 2.5 m/s. Además de lo establecido en el literal B.6.5.5 de este documento, el diseño debe tener en cuenta las consideraciones dadas en los siguientes literales:

### 7.5.7.1 Análisis de golpe de ariete

El análisis del golpe de ariete en la red de distribución debe considerarse en los siguientes casos:

- Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, cuando en las redes de distribución existan bombeos.
- Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, en los casos de redes principales nuevas o en ampliaciones/extensiones a las redes principales existentes.
- Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, cuando se tengan redes secundarias nuevas o cuando existan cambios sustanciales en la operación de redes secundarias existentes.

El objetivo principal del análisis del golpe de ariete en las redes de distribución es el de especificar los tiempos de maniobra y/o dispositivos de control especial, con el fin de seleccionar la alternativa que ofrezca el menor riesgo contra los efectos del golpe de ariete al mínimo costo. Los dispositivos de control especial incluyen entre otros, las válvulas de cierre rápido, las estaciones reductoras de presión, las válvulas de entrada a los sectores o subsectores hidráulicos, etc.

### 7.5.7.2 Condiciones para el cálculo de golpe de ariete

El análisis del golpe de ariete en las redes de distribución debe realizarse para las condiciones normales de operación, al igual que para las condiciones excepcionales causadas por posibles emergencias. Dentro de las condiciones normales de operación se encuentran las siguientes:

- Operación de válvulas en la red de distribución.
- Encendido de bombas.
- Apagado de bombas.

Entre las condiciones excepcionales causadas por posibles emergencias se encuentran las siguientes:

- Maniobras de cierre o apertura de válvulas de control.
- Interrupción súbita de algún bombeo dentro de la red de distribución.
- Ruptura de alguna de las tuberías principales de la red de distribución, en especial en aquellas donde se tengan las máximas presiones bajo régimen de flujo permanente.
- Cierre retardado de alguna de las válvulas de retención de la descarga de las bombas antes o simultáneamente con la máxima velocidad de reversa, ocurrida posteriormente a la interrupción del bombeo.

### 7.5.7.3 Presiones y esfuerzos que deben ser absorbidos por las tuberías

Con respecto a las presiones producidas por fenómenos de golpe de ariete y a los esfuerzos subsecuentes que deben ser absorbidos por los apoyos de las tuberías, el diseño debe tener en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.5.5 de este Título. Adicionalmente, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones referentes a las presiones transientes:

- Presiones máximas: Debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.5.8.3 de este Título.
- Presiones mínimas: Debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.5.8.4 de este Título.

#### 7.5.7.4 Celeridad de la onda de presión

Para el cálculo de la celeridad de la onda de presión a través de la red de distribución debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.5.8.5 de este Título.

#### 7.5.7.5 Período del golpe de ariete

Para el cálculo del período del golpe de ariete en cada una de las tuberías que conforman la red de distribución debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.5.8.6 de este Título.

#### 7.5.7.6 Métodos de cálculo de golpe de ariete en redes de distribución.

En redes de distribución el estudio del golpe de ariete debe ser hecho utilizando ya sea el método de las características o algún método de elementos finitos, considerando la columna de agua como elástica, siempre que ocurran las siguientes condiciones, ya sea parcial o totalmente:

- a) Separación de la columna en aquellas tuberías de la red de distribución de cotas más elevadas.
- b) Longitud de las tuberías de la red de distribución inferior a 20 veces la altura piezométrica total medida en la sección de salida de las bombas.
- c) Velocidad media máxima en las tuberías de la red distribución superior a 4 m/s.
- d) Posible falla de cierre de las válvulas a la salida de las bombas.
- e) Presiones actuantes que excedan 2/3 de la presión admisible especificada para clase de tuberías, conexiones y accesorios dentro de la red de distribución.
- f) Que el tiempo que se requiere para alcanzarse el inicio de reversión de la bomba sea menor que el tiempo del período del golpe de ariete.
- g) Que el tiempo de cierre de la válvula de corte sea menor que el período del golpe de ariete.
- h) Que el tiempo de cierre de las válvulas automáticas sea menor que 5 s.

El estudio del golpe de ariete puede realizarse utilizando métodos o programas comerciales de computador que permitan el análisis de fenómenos transientes en redes de distribución de agua potable.

## 7.5.8 Comprobación de diseño bajo diferentes condiciones de operación

Una vez finalizado el diseño de la red de distribución, se debe comprobar su operación hidráulica bajo diferentes condiciones. Para esto, al final de la etapa de diseño, se debe hacer uso de un programa de análisis de redes de tuberías que utilice el método del gradiente como método de cálculo, que utilice la ecuación de Darcy-Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White y tenga en cuenta que todas las tuberías deben simularse con su diámetro interno real y con el coeficiente de rugosidad absoluta correspondiente a cada material. Alternativamente, el programa puede permitir el uso de la ecuación de Hazen-Williams, poniendo particular cuidado a los límites de aplicación de dicha ecuación. Esta comprobación del diseño es obligatoria para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, y se recomienda para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo.

El diseño debe comprobarse para los siguientes casos de operaciones hidráulicas:

1. Flujo permanente bajo las condiciones de  $Q_{md}$  en el momento de la puesta en marcha del proyecto.
2. Flujo permanente bajo las condiciones de  $Q_{md}$  para períodos de operación de 10, 20 y 30 años.
3. Caudal Máximo Horario  $Q_{MH}$  actual y en el período de diseño de la red.
4. Caudal mínimo en el momento de inicio de operación del diseño y en el período de diseño de la red.
5. Escenarios de operaciones especiales de mantenimiento. En particular se deben tener en cuenta aquellos casos en los cuales estas operaciones impliquen cambios en las condiciones de apertura y cierre de válvulas en la red.
6. Escenarios de operaciones de emergencia, causadas por roturas en tuberías de máxima presión y otras condiciones de operación especiales que impliquen el cambio de sectorización temporal de la red.
7. En los casos de caudales mínimos, la comprobación de diseño se debe hacer bajo la condición de nivel máximo en los tanques que abastecen la red de distribución, mientras que para los caudales máximos, la simulación se debe hacer bajo la condición de nivel mínimo en los tanques de abastecimiento.
8. La comprobación de diseño también debe incluir análisis de la calidad de agua en la red de distribución.

En todos los casos anteriores es necesario verificar que los efectos sobre las velocidades no impliquen que en ningún punto de las tuberías de la red de distribución se duplique la velocidad de diseño o que en alguna de ellas ocurra un

cambio de dirección del flujo. Esto tiene el objetivo de evitar el desprendimiento de biopelículas y/o la resuspensión de material inorgánico depositado al interior de las tuberías, con las consecuencias de deterioro de la calidad de agua en la red de distribución de agua potable. En caso que en alguno de los escenarios se detecten tramos de la red en donde es imposible evitar uno de los dos efectos anteriores, se debe tener en cuenta una operación de lavado previa.

El diseño debe propender por establecer reglas de operación de la red de distribución que eviten los problemas de desprendimiento de biopelículas y/o resuspensión del material inorgánico depositado al interior de las tuberías.

## 7.5.9 Protocolo de pruebas

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, el diseño de una red de distribución de agua potable nueva o de la ampliación de una red existente debe incluir un protocolo de pruebas, en el cual el consultor especifique el tipo de pruebas hidráulicas que se deben realizar al sistema de distribución antes que éste entre en operación.

El protocolo debe incluir el tipo de operación hidráulica bajo la cual se deben realizar las pruebas, al igual que el tipo de mediciones de caudal, de presiones y de calidad de agua en puntos específicos del sistema. El diseño también debe establecer los puntos de medición, con su localización y los equipos de medición especiales, estableciendo el rango de precisión y de medición. También debe establecer la forma de simular las condiciones de campo con las cuales se debe realizar la prueba, las cuales también deben simularse en el modelo matemático de la red de distribución, con el fin de comparar los resultados medidos en campo con los arrojados con el modelo. La diferencia máxima admisible entre los valores del diseño y las mediciones en la etapa de operación inicial del sistema debe ser de máximo  $\pm 5\%$ . En caso que la diferencia máxima sea superior al valor admisible, la persona prestadora del servicio público de acueducto debe llevar a cabo una investigación con el fin de establecer las causas de dicha diferencia.

## 7.5.10 Manual de operaciones

Para todos los niveles de complejidad del sistema, y como una parte integral del proceso de diseño de una red de distribución nueva o la ampliación de una red de distribución existente, el consultor debe redactar y entregar a la persona prestadora del servicio público de acueducto el manual de operaciones de la red, en el cual queden establecidas las diferentes formas de operar la red, incluyendo las siguientes:

1. Operación normal de la red de distribución en el momento de entrada en operación.
2. Operación normal de la red para las condiciones al final del período de diseño.

3. Operación de la red bajo condiciones de emergencia, tales como un incendio o la rotura de una tubería.
4. Operación de la red bajo condiciones especiales de mantenimiento, tales como procesos de lavado unidireccional de la red de distribución, especificando la forma de operar los hidrantes.
5. Forma de operación de la red con el fin de lavar las zonas muertas de ésta, en caso que existan.
6. Otras condiciones especiales de operación que hayan sido especificadas por la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio en los pliegos para la licitación del diseño.

### 7.5.11 Uso de tecnologías de información para el diseño de redes de distribución

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, y como recomendación para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, con respecto a las tecnologías de información, el diseño de una red de distribución de agua potable nueva o la ampliación de una red de distribución existente debe seguir todo lo establecido en el literal B.6.5.12 de este Título. Para el caso particular de las redes de distribución de agua potable se deben tener en cuenta los siguientes aspectos adicionales relacionados con las tecnologías de información y su uso:

1. Con el fin de generar los caudales reales de consumo en cada uno de los nodos de la red, se deben establecer los volúmenes de consumo de cada uno de los suscriptores utilizando las bases de datos que formen parte de la información comercial de la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio.
2. Se debe hacer uso de un georreferenciador con el fin de establecer las coordenadas X, Y y Z de cada uno de los suscriptores, con el fin de asociar a cada uno de ellos con un nodo específico de consumo en la red de distribución. El programa de georreferenciación debe comunicarse con el sistema de información geográfica definido por la persona prestadora del servicio público de acueducto y con el programa de simulación hidráulica de la red de distribución.
3. El diseño de las redes de distribución debe llevarse a cabo utilizando un programa de modelación hidráulica de redes que utilice el método del gradiente para sus cálculos y que adicionalmente permita la modelación hidráulica para períodos extendidos y tenga rutinas de diseño optimizado de las redes.

## 7.6 Otras consideraciones de diseño

### 7.6.1 Dimensionamiento estructural de las tuberías

El dimensionamiento estructural de las tuberías que conforman la red primaria, para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, depende del material y debe realizarse según lo establecido en el capítulo G.3 “Aspectos estructurales” del Título G del RAS: “Aspectos complementarios”.

### 7.6.2 Localización de las redes de distribución de agua potable para redes nuevas

En caso que la persona prestadora del servicio público de acueducto en el municipio no tenga normas que especifiquen la localización de las redes de distribución de agua potable, éstas se deben localizar en los costados norte y oriente de las calles y carreras, excepto en aquellas vías que lleven red doble.

Si la distancia de los paramentos de una vía es mayor que 15 m o la vía tiene doble calzada, deben proyectarse dos tuberías de distribución a lado y lado de la vía.

### 7.6.3 Colocación o nivelación de las redes de distribución

Para todos los niveles de complejidad del sistema el eje de las tuberías debe localizarse con equipos topográficos de precisión y estacar cada 10 m. Las tuberías deben referenciarse con respecto a los ejes y los paramentos de las vías, previamente verificados por la oficina de planeación del municipio.

Los levantamientos altimétricos y planimétricos deben referenciarse a los B.M. ó placas oficiales de las oficinas de planeación municipal. En aquellos municipios donde no existan B.M. o placas oficiales de la oficina de planeación municipal, los levantamientos altimétricos y planimétricos deben referenciarse a los B.M. y placas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Todas las tuberías de la red de distribución deben instalarse preferiblemente por las zonas verdes de las vías o andenes, siempre que se cumplan las disposiciones sobre la separación entre las tuberías de acueducto y las tuberías o ductos de otras redes de servicios públicos, tal como se establece en el literal B.7.6.6.

## 7.6.4 Análisis de interferencias

En los planos de la red de distribución, ya sea nueva o en ampliaciones/extensiones a sistemas existentes, deben aparecer, en las secciones de la vía, la localización de las redes de acueducto, de alcantarillado, de otros servicios públicos y de otras obras de infraestructura existentes en el municipio o los municipios objeto del diseño.

Antes de iniciar la excavación de la zanja correspondiente a la instalación de las nuevas tuberías, es obligatorio localizar los alcantarillados principales y las posibles conexiones domiciliarias de alcantarillado que puedan ser interceptadas con el eje de la nueva tubería, al igual que las redes de otros servicios públicos. En el caso particular de los alcantarillados, el diseño debe incluir todas las medidas necesarias para evitar la descarga de las aguas residuales en la zanja que se va a construir. Si en algún momento a la zanja abierta llegan aguas residuales, estas deben eliminarse mediante bombeos, y la zona que haya sido objeto de la contaminación debe desinfectarse utilizando cualquier procedimiento aceptado por la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio.

Con el fin de analizar las interferencias, el consultor debe utilizar los planos del catastro municipal, los planos del catastro de redes de servicios públicos existentes tanto en la persona prestadora del servicio público de acueducto como en otras empresas de servicios públicos y oficinas de administración municipal. En aquellos casos en que los planos indiquen interferencias que involucren tuberías de agua potable con diámetros nominales superiores a 200 mm o tuberías de alcantarillado con diámetros nominales superiores a 600 mm, los datos de catastro mostrados en los planos deben verificarse mediante apiques en campo.

## 7.6.5 Instalación de las tuberías

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, deben analizarse todas las condiciones de instalación de la tubería, especificando las protecciones requeridas cuando esto sea necesario. En especial deben analizarse los siguientes aspectos correspondientes a las redes principales de distribución de agua potable:

- La instalación de la tubería, en tramos con pendientes altas, alrededor de 20 grados o mayores.
- La instalación de la tubería en pasos de quebradas, cañadas u otros cuerpos de agua sujetos a inundaciones o caudales que puedan causar erosión en los recubrimientos de las tuberías.
- La instalación de la tubería con una cobertura de terreno menor a la especificada en el literal B.7.4.11, en caso de circulación de vehículos con cargas que puedan causar daños en las tuberías.
- En la instalación de las tuberías en áreas sujetas a inundaciones o con niveles freáticos variables, con el fin de evitar la posibilidad

- que la tubería flote, principalmente cuando se encuentre vacía, recomendando los anclajes necesarios para su protección.
- En el caso de ampliaciones/extensiones de redes de distribución de agua potable existentes, el diseño debe considerar el uso de tecnologías sin zanja para la instalación de tuberías.

La instalación de las tuberías debe realizarse siguiendo todo lo establecido en el capítulo G.4 “Aspectos de construcción” del Título G del RAS.

## 7.6.6 Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos

A continuación se describen las distancias mínimas que deben existir entre los tubos que conforman la red de distribución de agua potable y los ductos de otras redes de servicio públicos:

### 7.6.6.1 Alcantarillado de aguas residuales o alcantarillados combinados

Las distancias mínimas entre las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable y las tuberías de alcantarillados de aguas residuales o alcantarillados combinados dependen del nivel de complejidad del sistema, tal como se especifica en la tabla B. 7.7. Allí, la distancia vertical se entiende como la distancia entre la cota de batea de la tubería de acueducto y la cota clave de la tubería de alcantarillado.

Tabla B. 7.7 Distancias mínimas a red de alcantarillado de aguas residuales

Nivel de Complejidad del Sistema	Distancias mínimas
Bajo y Medio	1.0 m horizontal; 0.3 m vertical
Medio Alto y Alto	1.5 m horizontal; 0.5 m vertical

Las tuberías de acueducto no pueden estar ubicadas en la misma zanja de una tubería de alcantarillado de aguas residuales o lluvias, y su cota de batea debe estar siempre por encima de la cota clave del alcantarillado. En general, es recomendable que las tuberías de acueducto se coloquen hacia uno de los costados de las vías, preferiblemente los costados norte y este, opuesto a aquel donde se colocan las tuberías del alcantarillado de aguas residuales.

En el caso que por falta física de espacio o por un obstáculo insalvable, sea imposible cumplir con las distancias mínimas anteriormente relacionadas, la tubería de acueducto deberá ser revestida exteriormente con una protección a

todo lo largo de la zona de interferencia, que garantice su estanqueidad ante la posibilidad de contaminación por presiones negativas.

### 7.6.6.2 Alcantarillados de aguas lluvias

Las distancias mínimas entre las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable y las tuberías de un alcantarillado de aguas lluvias dependen del nivel de complejidad del sistema, tal como se especifica en la tabla B. 7.8.

Tabla B. 7.8 Distancias mínimas a la red de alcantarillado de aguas lluvias

Nivel de Complejidad del Sistema	Distancias mínimas
Bajo y Medio	1.0 m horizontal; 0.3 m vertical
Medio alto y Alto	1.2 m horizontal; 0.5 m vertical

Las tuberías de acueducto no pueden estar ubicadas en la misma zanja de una tubería de alcantarillado pluvial, y su cota de batea debe estar siempre por encima de la cota clave del alcantarillado. Las tuberías de alcantarillado de aguas residuales deben ir preferiblemente sobre el eje de la vía.

### 7.6.6.3 Teléfonos, energía y gas

Las distancias mínimas entre las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable y los ductos de redes de teléfonos, energía eléctrica y gas dependen del nivel de complejidad del sistema, tal como se especifica en la tabla B. 7.9.

Tabla B. 7.9 Distancias mínimas a redes de teléfono, energía y gas

Nivel de Complejidad del Sistema	Distancias mínimas
Bajo y Medio	1.0 m horizontal; 0.3 m vertical
Medio Alto y Alto	1.2 m horizontal; 0.5 m vertical

Cuando haya interferencia con redes que tengan protección catódica, en el caso que las tuberías de acueducto sean metálicas, éstas deben contar con las protecciones necesarias.

## 7.6.7 Contraflujos

Uno de los principios básicos del funcionamiento de las redes de distribución de agua potable es que la dirección de flujo puede variar según donde

se concentre la demanda. Ésta es la misma razón por la cual se diseñan redes malladas. La alimentación de un tramo puede venir por uno u otro extremo. En este sentido, el diseño debe establecer el riesgo de que ocurran contraflujos en algunas de las tuberías de la red de distribución de agua potable que se constituyan en un riesgo alto de contaminación, e incluir los controles necesarios para evitar que la calidad del agua se deteriore, tales como dispositivos y accesorios necesarios para eliminar dicha posibilidad, estableciendo en forma clara todos los puntos de la red en que es necesario que se ubiquen este tipo de dispositivos.

Dentro de los dispositivos se debe contemplar la instalación de válvulas de cheque y cualquier otro tipo de válvulas de prevención de contraflujos, así como todas las válvulas necesarias para su montaje y mantenimiento.

En el manual de operación de la red entregado por el diseñador, deben quedar perfectamente establecidas las zonas de la red de distribución en las cuales existe riesgo alto de contaminación, y se debe especificar, adicionalmente, la forma de operación de la red con el fin de mantener dichos riesgos de contaminación en lo mínimo posible.

### 7.6.8 Edificios

Para todos los niveles de complejidad del sistema los edificios de más de 10 metros de altura deben contar con su propio sistema hidroneumático o de bombeo interno del agua para producir las presiones internas necesarias para la operación de todos los equipos hidrosanitarios que formen parte de la edificación. En todos los casos se prohíbe instalar bombeos directos desde la red pública, es decir, las instalaciones internas de edificios deben incluir un tanque de succión.

Las instalaciones de equipos hidroneumáticos y todos los accesorios que conformen las redes internas dentro de las edificaciones deben cumplir con la Norma NTC 1500, Código Colombiano de Fontanería. Adicionalmente al tanque de succión, todo edificio debe contar con tanques de reserva de agua.

## 7.7 Accesorios y estructuras para las tuberías de la red de distribución

Los accesorios son elementos complementarios para la instalación de las tuberías, e incluyen uniones, codos, reducciones, tees, válvulas, anclajes, etc.

Las tuberías y los accesorios deben ser compatibles entre sí, con respecto a presiones de trabajo, dimensiones (diámetros, espesores, sistemas de unión) y a estabilidad electroquímica si se trata de materiales metálicos diferentes.

En relación con las especificaciones técnicas de los accesorios que van a utilizarse en la red de distribución, éstos deben cumplir con los requerimientos de las Normas Técnicas Colombianas vigentes, o de las normas técnicas internacionales de la AWWA, DIN, ISO, ASTM, o de cualquier otra norma internacional equivalente, las cuales se encuentran en la tabla B.6.39. Adicionalmente, deben cumplir todo lo establecido en el Reglamento Técnico de Tuberías, Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007 del MAVDT o las normas que las sustituyan, modifiquen o adicionen.

### 7.7.1 Aspectos generales de las válvulas en redes de distribución

La red de distribución debe proveerse de válvulas de compuerta o mariposa ubicadas de modo que cumplan los siguientes requisitos:

1. En las tuberías principales deben disponerse de las válvulas necesarias que permitan aislar un sector o zona de servicio.
2. Si se aísla parte del sistema, debe mantenerse el servicio del agua en el resto de la población. Únicamente se hará excepción a esta regla para el nivel de complejidad del sistema bajo.
3. Para el nivel de complejidad del sistema bajo será suficiente prever una única válvula en la tubería que alimenta toda la red de distribución de agua potable.
4. El empalme de todo ramal de derivación importante con la red de distribución debe tener una válvula de derivación o corte.
5. Todas las conexiones de tuberías secundarias con las tuberías principales deben tener una válvula de derivación o corte.
6. Debe analizarse y sustentarse la disposición de las válvulas teniendo en cuenta la flexibilidad de operación del sistema y la economía en el diseño para reducirlas a un mínimo al aislar un sector o zona de servicio.
7. En caso que la red de distribución de agua potable de un municipio se encuentre dividida en zonas de servicio atendidas por diferentes operadores, las diferentes zonas deberán estar conectadas entre sí y aisladas a través de una válvula de mariposa o de compuerta de cierre permanente. Se recomienda que el tapa válvula de este accesorio esté pintado con un color llamativo con el fin de facilitar su identificación o que tenga definida su ubicación y su sistema de operación, de manera que se garantice la interconexión de las zonas.

Debe cumplirse con las Normas Técnicas AWWA C500-93 o AWWA C600.

### 7.7.1.1 Materiales para las válvulas

Los materiales en que deben construirse las válvulas, tanto en su cuerpo como en sus mecanismos de cierre, deben cumplir todas las Normas Técnicas Colombianas, o las normas técnicas internacionales de la AWWA, DIN, ASTM o cualquier otra norma internacional equivalente.

Las características de los materiales deben ser función de las características del agua, así como de las presiones de servicios más los factores de seguridad establecidos en los literales anteriores.

## 7.7.2 Válvulas en redes matrices de distribución

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto en los que existan redes matrices para la distribución de agua potable deben colocarse las siguientes válvulas:

### 7.7.2.1 Válvulas de corte o cierre (válvulas de compuerta o válvulas mariposa)

Deben instalarse válvulas de corte por lo menos cada 1500 m. En todos los puntos de empate, entre tuberías de diámetro diferente, la válvula debe colocarse sobre la tubería de menor diámetro.

Además, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. En tees y cruces de tubería, deben especificarse las válvulas de corte necesarias para facilitar el aislamiento de un tramo, sin afectar a los demás.
2. En todo cruce entre dos tuberías principales que no estén conectadas por pertenecer a sistemas de presión diferente o a sistemas de prestación del servicio diferentes debe diseñarse una interconexión de servicio obturada mediante una válvula de corte. El diámetro de esta interconexión debe ser, como mínimo, igual al del menor diámetro de las tuberías del cruce.
3. El diámetro de las válvulas de corte será siempre igual o inferior a la tubería en la cual se coloca, con una relación aproximada de diámetro hasta de 1.25, teniendo en cuenta la velocidad en la válvula y la pérdida de altura piezométrica ocasionada no produzca cavitación, seleccionando el diámetro comercial más cercano al valor obtenido.

Las válvulas de corte utilizadas deben cumplir los mismos requerimientos de lo especificado en el literal B.6.7.2.3.

### 7.7.2.2 Válvula de purga

En todos los puntos bajos deben colocarse válvulas de purga para el drenaje de la tubería. Cuando ésta se desocupe, el agua debe conducirse al sistema de alcantarillado pluvial, de existir éste, a canales recolectores de agua lluvia o a canales abiertos. Debe justificarse plenamente cuándo en un punto bajo no se requiere válvula de purga.

Los valores del tiempo de descarga deben ser fijados por el consultor, de acuerdo con la persona prestadora del servicio público de acueducto, y su valor máximo para tuberías de 1.22 m y mayores será de 10 horas.

### 7.7.2.3 Válvulas ventosas

Las ventosas deben ser instaladas en todos los puntos donde haya la posibilidad de acumulación de aire en la tubería, es decir, donde no sea posible su remoción hidráulica.

Para que exista la remoción hidráulica del aire es necesario que la velocidad mínima operacional sea igual o superior a la velocidad crítica. En caso de no existir la remoción hidráulica será necesaria la instalación de ventosas para la remoción mecánica del aire. Las ventosas deben cumplir con las normas técnicas requeridas (Véase literal B.6.7).

## 7.7.3 Válvulas en redes secundarias

La red de distribución secundaria debe estar provista de válvulas, cumpliendo los siguientes requisitos:

En el caso de válvulas tipo compuerta:

1. Deben tener vástago no deslizante con cabezote operable mediante llave T.
2. Todas las válvulas deben cerrar en sentido dextrógiro.
3. Las válvulas deben colocarse en las intersecciones de las mallas principales, de tal manera que formen circuitos cuyo desarrollo no debe ser superior a:
  - 1500 m en poblaciones menores y de baja densidad de habitantes (menor que 250 habitantes por hectárea).
  - 800 m en poblaciones con densidad mayor que 250 habitantes por hectárea.
4. Debe colocarse una válvula en los puntos en que exista un tramo de derivación importante.
5. En los puntos bajos de la red deben instalarse válvulas de purga o desagüe y diseñarse las obras necesarias para su adecuado drenaje.
6. No se permiten puntos muertos en la red, debiendo necesariamente terminar en válvulas con drenaje.

7. En los puntos altos de la red de distribución deben instalarse dispositivos de entrada o salida de aire (ventosas).
8. Todas las válvulas deben complementarse y protegerse con cajas de mampostería, hormigón o metal con tapa a nivel de la rasante. En los siguientes literales se especifican las formas como deben dimensionarse las cajas para válvulas.

En el caso que se utilicen válvulas mariposa o de bola en la red de distribución secundaria, estas deben estar provistas de un mecanismo de control de cierre que permita que éste sea relativamente lento con el fin de evitar el golpe de ariete.

Las válvulas en las redes de distribución de agua potable se clasifican, de acuerdo con la función deseada, en válvulas de corte, válvulas de cierre permanente, válvulas de admisión o expulsión de aire (ventosas), válvulas de regulación de presión, válvulas de regulación de caudal, válvulas reductoras de presión, válvulas de prevención de reflujo (válvulas de cheque), válvulas de drenaje o purga, válvulas de paso directo y válvulas de alivio.

En los siguientes literales se especifican los requerimientos para cada uno de los tipos de válvula.

### 7.7.3.1 Válvulas de corte o cierre

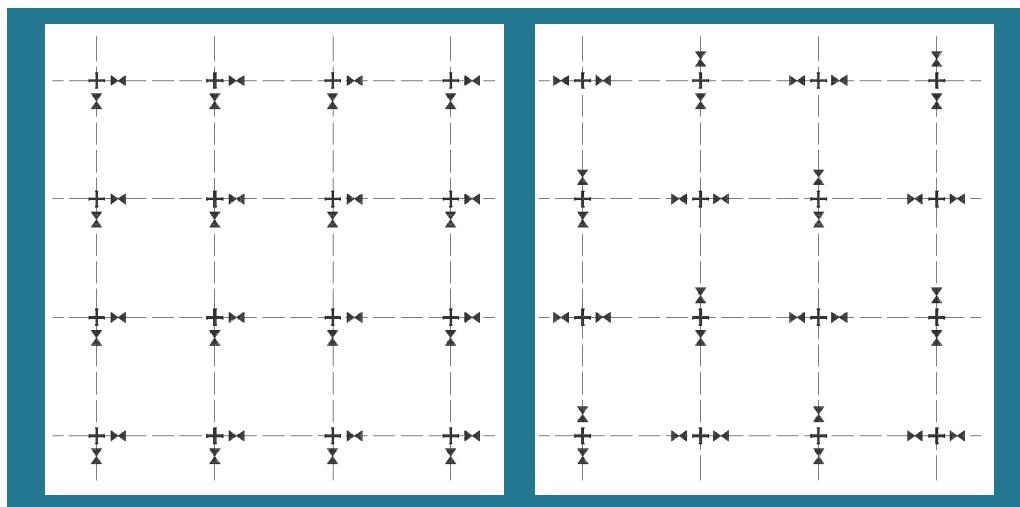
Las válvulas de corte o cierre se utilizan para el cierre o apertura de diferentes tramos de tuberías en las redes de distribución, particularmente en las redes de distribución secundaria. Se utilizan principalmente para aislar sectores en procesos de sectorización, situaciones de mantenimiento y situaciones de emergencia, tales como estallidos de tubería o eventos de coloración del agua causados por desprendimiento de películas biológicas o depósitos inorgánicos al interior de las redes. Las válvulas de compuerta no se deben utilizar en tuberías con diámetros superiores o iguales que 350 mm, en cuyo caso se deben utilizar válvulas de mariposa. En todos los casos el consultor debe tener en cuenta especificaciones particulares que existan en los manuales de operación y normas de la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio.

Cuando en un punto dado de la red se interconecten tres o más tramos de las tuberías, el diseño debe prever una válvula de cierre en cada tramo. En las tuberías de la red secundaria el diseño debe prever siempre una válvula en las interconexiones de ésta con las tuberías de las redes primarias o tuberías principales.

El diseño debe especificar las válvulas necesarias para que al ejecutar un cierre por razones de mantenimiento o de emergencia, no se aíslen zonas superiores a cuatro cuadras en los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto y seis cuadras en los niveles de complejidad del sistema bajo y medio. En todos aquellos puntos de empalme de una tubería de diámetro mayor con una tubería de diámetro menor, debe instalarse una válvula sobre la tubería de

diámetro menor. El diseño debe tener en cuenta la flexibilidad operacional y los costos globales de la red de distribución con el fin de localizar las válvulas. Como guía, a continuación se presentan dos esquemas de distribución de válvulas, los cuales pueden ser adoptados por el consultor.

**Figura B. 7.1 Disposición de válvulas para redes de distribución de 75 y 100 mm de diámetro**



### 7.7.3.2 Ventosas

Este tipo de válvulas se utilizan para la admisión y expulsión en los procesos de vaciado y llenado de las tuberías de la red de distribución.

En todos aquellos puntos altos de la red de distribución donde se detecte que no sea posible la remoción hidráulica del aire o donde no sea posible utilizar las conexiones domiciliarias para la expulsión de éste, debe instalarse una válvula ventosa de doble acción (ventosa automática) con el fin de evitar que el aire atrapado separe la columna de agua en la red cuando ésta esté en operación; también debe permitir la entrada de aire cuando ésta se desocupe en operaciones de mantenimiento rutinario o durante emergencia. En todo caso debe cumplirse con lo establecido en las normas técnicas nacionales e internacionales que apliquen según material, tales como las Normas Técnicas Colombianas, la Norma Técnica AWWA C512.

Adicionalmente, el diseño debe tener en cuenta las siguientes dos consideraciones:

1. En las redes de distribución de acueducto pueden instalarse ventosas simples o de orificio pequeño cuando las condiciones especiales de operación las requieran, o cuando sean exigidas en los manuales de la persona prestadora del servicio público de acueducto.

2. El tamaño de las ventosas debe ser de 1/8 del diámetro de la tubería en las redes de distribución de agua potable con un valor mínimo de 25 mm.

Desde la etapa de diseño también se debe hacer la verificación de la remoción hidráulica del aire así como la verificación de la condición de llenado de las tuberías de la red de distribución. La operación de las ventosas debe verificarse integralmente con la operación de las purgas.

### 7.7.3.3 Válvulas reguladoras de presión

Estas válvulas se utilizan para regular o reducir la presión en puntos específicos de la red de distribución de agua potable. En el caso de las redes de distribución deben utilizarse válvulas de globo con diafragma. En todo caso, el consultor debe tener en cuenta lo establecido en los manuales de operación y de construcción de la persona prestadora del servicio público de acueducto, en caso que estos existan.

En las uniones de la red de distribución de agua potable con las líneas que parten de tanques de almacenamiento y/o compensación y en aquellos casos en que la presión estática supere el valor máximo especificado en el literal B.7.4.6 de este Título, el diseño debe contemplar la instalación de una válvula reductora de presión. El diámetro de la válvula debe determinarse de acuerdo con el caudal máximo horario (QMH) para el final del período de diseño de la red de distribución en esa zona del municipio. Adicionalmente, las válvulas reguladoras de presión deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. Las válvulas reguladoras de presión deben producir una pérdida de altura predeterminada con el fin de controlar la presión, manteniéndola constante, independientemente del caudal que pase a través de ellas.
2. Todas las válvulas reguladoras de presión deben ir acompañadas de válvulas de cierre que permitan el rápido monte y desmonte con fines de mantenimiento y/o cambio de las válvulas.
3. Todas las válvulas reguladoras de presión deben ir acompañadas de un paso lateral (*by pass*) con el fin de permitir la distribución de agua potable durante las operaciones de mantenimiento o cambio de las válvulas reguladoras de presión. En este sentido se debe tener en cuenta lo establecido en el literal B.7.7.3.11 de este documento.
4. Se recomienda el uso de válvulas reguladoras de presión instaladas en bifurcaciones de la línea, con el fin de permitir el funcionamiento de la distribución en caso de avería y/o mantenimiento de una de ellas.
5. Las válvulas reguladoras de presión deben estar localizadas en cajas que permitan un acceso adecuado para las operaciones de montaje, mantenimiento y operación normal de la red de

distribución. Las cajas deben contar con un sistema de drenaje conectado a la red de drenaje urbano del municipio o al sistema de alcantarillado.

6. Las válvulas reguladoras de presión deben estar complementadas con todos los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento y deben estar provistas de un indicador del grado de apertura.
7. Las válvulas reguladoras de presión deben soportar la presión a ambos lados (aguas arriba y aguas abajo) simultáneamente o sólo por uno de ellos. Exteriormente, en el cuerpo de la válvula debe tenerse grabada un flecha que indique la dirección del flujo.
8. En todos los casos, las válvulas reguladoras de presión deben cerrarse automáticamente al ocurrir un daño en los diafragmas.
9. Se recomienda que en las estaciones reguladoras de presión, localizadas a la entrada de circuitos o subcircuitos hidráulicos, el diseño cuente con un aparato totalizador de caudales.

#### 7.7.3.4 Válvula reductora de presión

Las válvulas reductoras de presión reducen automáticamente la presión aguas abajo de si mismas, hasta un valor predeterminado, admisible para las instalaciones localizadas en la red de distribución aguas abajo.

#### 7.7.3.5 Válvulas controladoras de caudal

El uso de estas válvulas es necesario en aquellos sitios localizados aguas abajo de las válvulas reguladoras de presión. Su objetivo es dejar pasar un caudal determinado para una presión determinada, el cual es función de la apertura de la válvula. En este caso se deben utilizar válvulas de mariposa excéntricas para las cuales la posición de la lenteja se encuentra calibrada. No se deben utilizar válvulas de compuerta como válvulas controladoras de caudal, a no ser que se cuente con la aprobación previa de la persona prestadora del servicio público de acueducto.

#### 7.7.3.6 Válvulas de cheque

En las tuberías de la red secundaria que estén aguas abajo de una bomba (líneas de impulsión de la bomba), deben colocarse válvulas de cheque o de retención con el fin de evitar el retroceso de agua, con el consiguiente vaciado de la tubería y los posibles daños en las bombas o posibles aplastamientos de la tubería. Deben cumplirse las normas técnicas correspondientes.

### 7.7.3.7 Válvulas de purga o descarga

Estas válvulas se utilizan para el lavado y la descarga de la red de distribución tanto en el caso de las redes primarias y secundarias. Se pueden utilizar válvulas esféricas dependiendo del tamaño de la tubería y la presión en el punto particular de la red. El uso de las válvulas esféricas se debe contemplar en aquellos puntos de la red donde la presión del agua supere los 40 m.c.a.

Preferiblemente en todos los puntos bajos de la red de distribución deben colocarse válvulas de descarga o purga o en su defecto se debe colocar un hidrante. El caudal descargado debe conducirse rápidamente al sistema de alcantarillado o al sistema de drenaje urbano del municipio. Salvo que exista una justificación debidamente aprobada por la persona prestadora del servicio público de acueducto, el diseño debe incluir válvulas de descarga o purga o hidrantes en todos los puntos bajos de la red de distribución.

Para el diseño de las válvulas de descarga, el consultor debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. La descarga debe permitir la eliminación total del agua contenida en la tubería.
2. El diámetro de la tubería de descarga debe estar entre 1/3 y 1/4 del diámetro de la tubería a drenar, con un mínimo de 75 mm para tuberías de 100 mm o mayores. Para las tuberías con diámetros menores la válvula de purga debe tener el mismo diámetro de la tubería.
3. Cada válvula de descarga o purga debe estar protegida con una válvula de cheque con el fin de evitar el retroceso del agua.

### 7.7.3.8 Válvulas sostenedoras de presión

Este tipo de válvulas se utilizan con el objetivo de mantener una presión determinada aguas arriba de ellas, sin tener en cuenta las posibles variaciones del caudal. La válvula debe permanecer cerrada mientras la presión aguas arriba esté por debajo de la presión fijada en la válvula y abierta si dicha presión aguas arriba está por encima del valor fijado.

### 7.7.3.9 Válvulas de alivio

El objetivo de estas válvulas es proteger las tuberías de la red contra excesos de presión los cuales pueden ser causados por fenómenos de golpe de ariete o por operaciones anómalas en la red de distribución. En estos casos, cuando la presión de la tubería supere un límite preestablecido, la válvula debe abrirse generando una caída en la presión piezométrica. El caudal descargado por cualquier válvula de alivio debe dirigirse directamente a una tubería de alcantarillado o a un canal de drenaje urbano con la capacidad adecuada o hacia corrientes naturales, en las cuales se debe incluir protección de orillas en caso que sea necesario.

### 7.7.3.10 Válvulas de sobre-velocidad

Este tipo de válvulas se utilizan cuando sea necesario cerrar o aislar una tubería de la red ante un cambio repentino en el caudal. En caso de que el caudal que pasa a través de la tubería esté por encima del caudal establecido para esta, la válvula de sobre-velocidad se debe cerrar.

### 7.7.3.11 Cajas de las válvulas

Todas las válvulas que conformen un sistema de distribución de agua potable deben colocarse dentro de cajas cuya construcción se debe realizar en el mismo momento en que el tramo correspondiente sea colocado y aceptado por la persona prestadora del servicio público de acueducto. Las cajas para válvulas deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. Las cajas de válvulas deben estar construidas en mampostería de ladrillo, en concreto reforzado, o en cualquier otro material aprobado por la persona prestadora del servicio público de acueducto.
2. El fondo de la caja debe estar hecho en concreto, con un espesor mínimo de 0.15 m.
3. En todos los casos, las cajas de válvulas deben tener un sistema de drenaje dirigido al sistema de alcantarillado o algún cuerpo de agua de la red de drenaje urbano del municipio.
4. La distancia entre el fondo de la caja y la parte inferior del cuerpo o carcasa de la válvula debe ser superior a 0.2 m. Se exceptúan los casos de las ventosas.
5. Las tapas de las cajas para las válvulas deben ser de concreto reforzado y su espesor debe tener en cuenta, para su diseño, todas las cargas vivas que puedan actuar sobre ellas. En ningún caso el espesor debe ser inferior a 70 mm. Alternativamente, y con aprobación previa de la persona prestadora del servicio público de acueducto y dando prioridad a lo establecido por empresas regionales, se pueden utilizar tapas metálicas. En aquellos casos en que las cajas contengan equipos de medición especiales, tanto para la medición de caudales como para la medición de presiones, que contengan equipos de comunicación y de transmisión de datos en tiempo real, o válvulas de cierre permanente de la sectorización, la tapa de la caja debe ser de seguridad.
6. En aquellos casos en que la caja de válvulas se localice en una vía de alto tráfico, su acceso debe realizarse lateralmente desde el andén. También deben tenerse en cuenta consideraciones especiales, desde la etapa de diseño, para aquellas cajas que estén en zonas verdes o al interior de instalaciones.

En general, deben tenerse en cuenta todos los requisitos establecidos en manuales, normas y especificaciones de las personas prestadoras del servicio público de acueducto, dando preferencia a lo establecido por empresas regionales.

A modo de ejemplo, se presentan cajas y estaciones reguladoras de presión para válvulas con diámetros entre 50 y 250 mm:

Figura B. 7.2 Esquema Estación Reguladora de Presión para d = 50 y 75 mm

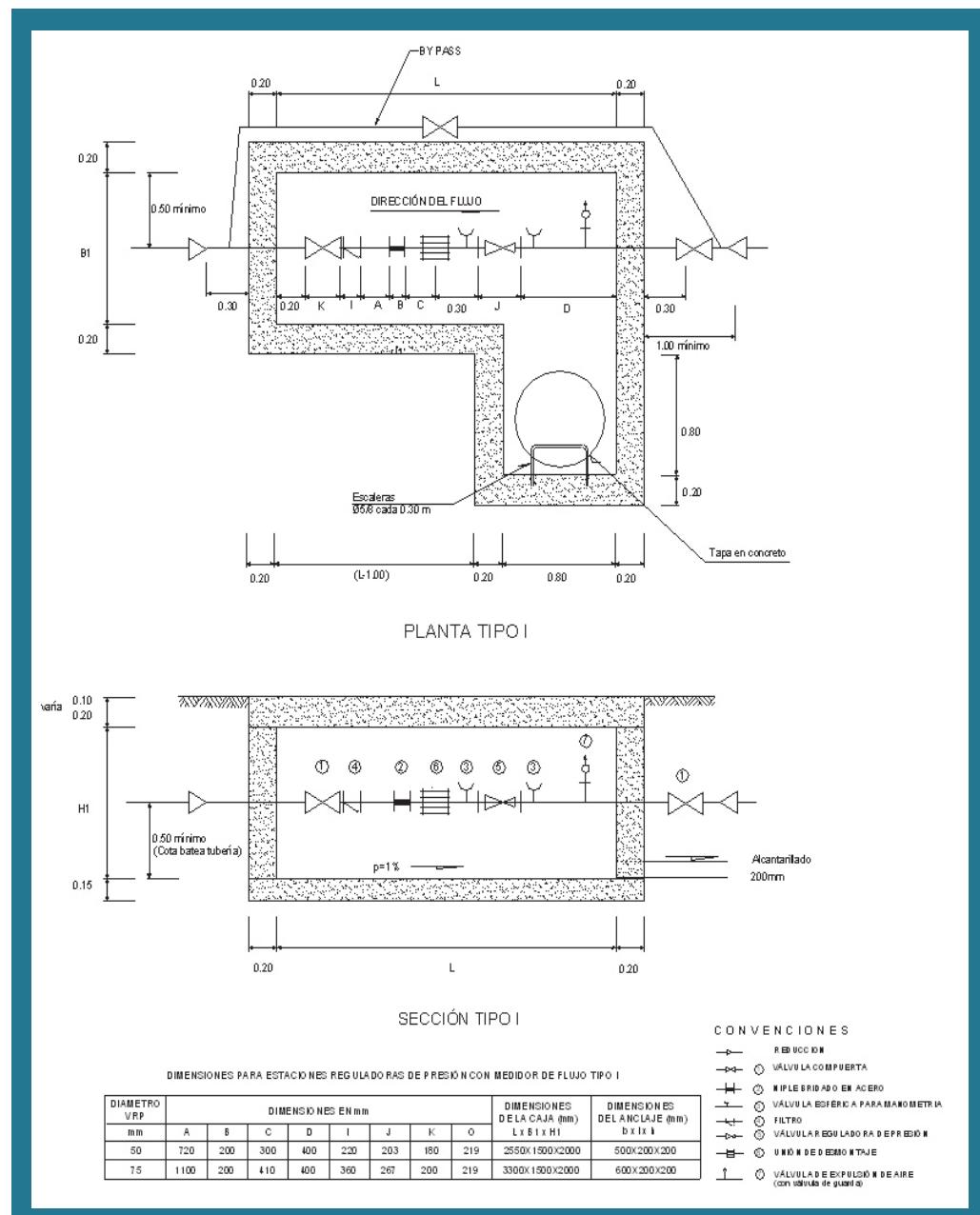
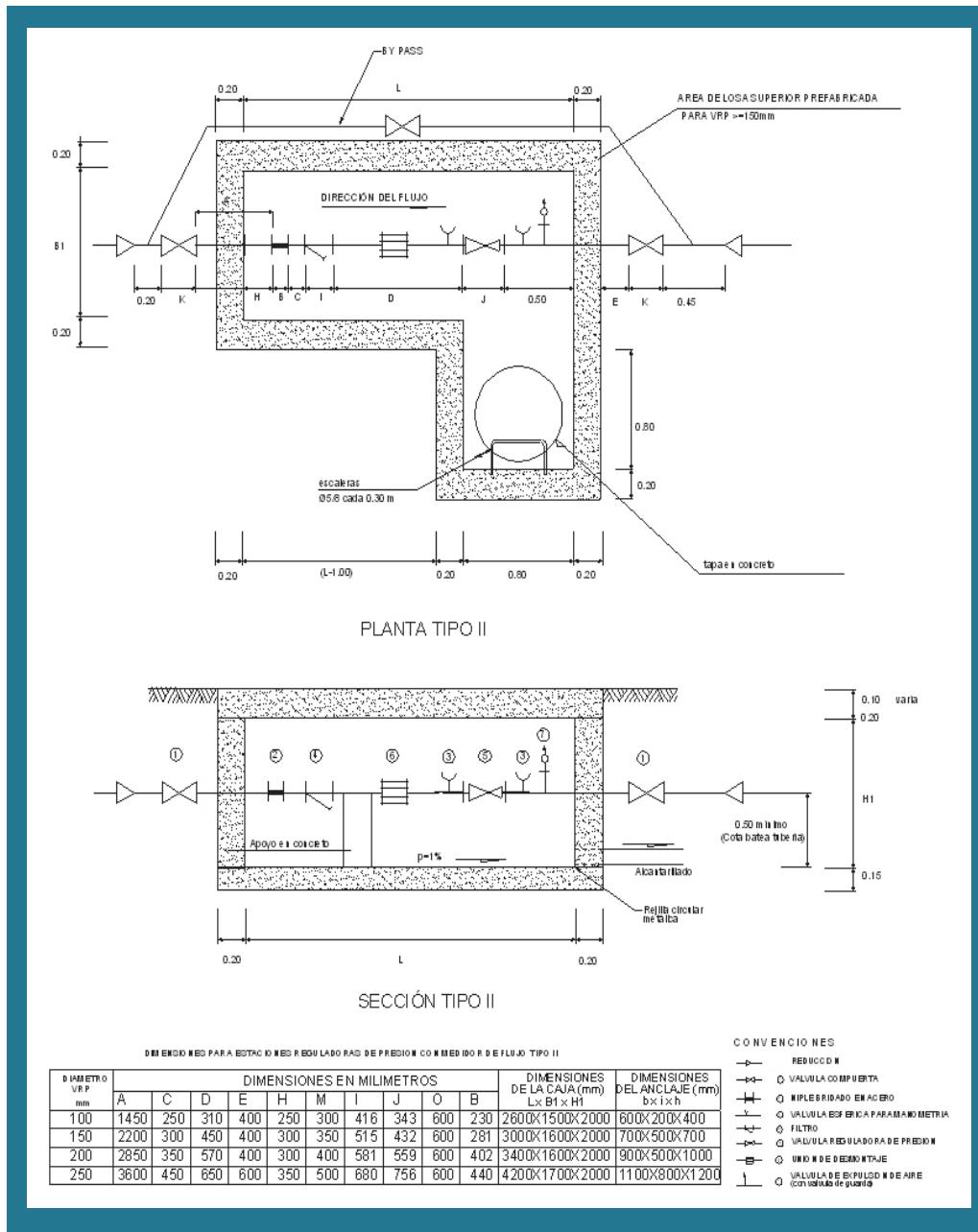


Figura B. 7.3 Esquema Estación Reguladora de Presión para d = 100, 150, 200 y 250 mm.



### 7.7.3.12 Número de válvulas para aislar un circuito hidráulico de la red de distribución

El diseño de la red de distribución de agua potable debe fijar la distribución de válvulas con diámetros iguales o superiores a 100 mm con

el fin de operar y controlar la red de distribución de tal forma que se pueda aislar cualquier sector hidráulico de la red sin que sea necesario cerrar más de cuatro válvulas. En ningún caso el sector aislado debe tener un área superior a 4 cuadras.

Para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, en ningún caso, el sector hidráulico aislado puede tener un área superior a 6 cuadras.

## 7.7.4 Dispositivos para autorregulación

Los dispositivos para la autorregulación deben utilizarse cuando se requiera variar en forma permanente la presión de suministro a una válvula reguladora, debido a cambios en la demanda, facilitando así un control activo de presión. Esto es obligatorio para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto y se recomienda para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo.

Estos dispositivos permiten disminuir el índice de roturas, la cantidad de agua perdida debido a las fugas y los consumos no medidos por fallas en los medidores cuando la demanda es baja. Además, permiten aumentar la presión en las horas de mayor demanda y mejorar el desempeño de las válvulas con problemas de regulación.

Los dispositivos constan de una unidad de registro, unidad de control y actuador hidráulico. Para poder ajustar de forma continua la presión de salida, el equipo dispone de un controlador electrónico adaptado al piloto de una válvula reguladora de presión (VRP).

El control de la presión está regido según el patrón diario y horario de demanda. Para determinar la presión de salida de la VRP, de acuerdo con la hora del día, se debe usar la siguiente ecuación:

$$P_{\text{programada}} = P_{\text{salidaVRP}} - (P_{\text{actualp.critico}} - P_{\text{deseadop.critico}}) \quad (\text{B. 7.22})$$

donde:

$P_{\text{programada}}$	= Presión programada en el dispositivo (m.c.a.).
$P_{\text{salidaVRP}}$	= Presión normal de salida de la válvula reguladora de presión (m.c.a.).
$P_{\text{actualp.critico}}$	= Presión actual en el punto crítico de la red aguas abajo de la VRP a una hora determinada (m.c.a.).
$P_{\text{deseadop.critico}}$	= Presión mínima en el punto crítico de la red, aguas abajo de la VRP.

En todo caso, las reglas de operación de los dispositivos para autorregulación deben evaluarse y analizarse utilizando el modelo hidráulico de la red de distribución de agua potable existente en la persona prestadora del servicio público de acueducto.

## 7.7.5 Accesorios para el lavado de las tuberías

Para todos los niveles de complejidad del sistema, el diseño de la red de distribución debe incluir los siguientes accesorios para llevar a cabo el lavado de las tuberías que conforman la red, con el fin de restablecer la calidad del agua ante eventos de desprendimiento de películas biológicas o de resuspensión de depósitos inorgánicos y minerales:

1. En el caso que existan puntos muertos en la red de distribución estos deben tener los siguientes dispositivos:
  - a) Codo de 45° con respecto a la horizontal que una la tubería con el punto de lavado.
  - b) Cámara de lavado con un sistema de drenaje con capacidad suficiente, conectada con el sistema de alcantarillado o con un canal, quebrada, río o cualquier otro cuerpo de agua que conforme el drenaje natural de la ciudad o del municipio.
  - c) Válvula de control tipo compuerta cuando el diámetro de la tubería es inferior a 200 mm o válvula de cono hueco para tuberías con diámetro superior a 200 mm.
  - d) Estructura de disipación de energía cuando se utilice una válvula tipo cono hueco, ver literal B.6.7.2.9.
  - e) Caja seca separada para la operación de las válvulas, cuando se trate de tuberías con diámetros superiores a 150 mm.
  - f) De todas formas, el diseño debe establecer la forma de operación de las válvulas y la duración y frecuencia del lavado de esos puntos muertos.
2. En el caso de tuberías metálicas o tuberías de concreto, se deben dejar los dispositivos necesarios para permitir el ingreso de herramientas cilíndricas o en forma de bala a las tuberías secas, las cuales son forzadas a través de la tubería utilizando agua a presión. Estas herramientas están cubiertas por cepillos plásticos o de alambre con el fin de mover las incrustaciones duras que puedan crecer al interior de las tuberías.
3. El diseño debe establecer el tipo de accesorios necesarios para el ingreso de las herramientas, al igual que la frecuencia y duración de estas operaciones de lavado. En casos especiales se puede permitir el uso de ácidos inhibidores para ser adicionados al sistema. En estos casos se debe tener en cuenta la remoción total del ácido y la desinfección de la tubería una vez finalicen las operaciones de lavado.
4. En el caso de lavados convencionales utilizando hidrantes, el diseño debe asegurar la cercanía al sistema de drenaje de alcantarillado o a un canal, quebrada o río que forme parte del sistema de drenaje natural del municipio. En estos casos, el diseño debe establecer la duración y frecuencia de los lavados.

## 7.7.6 Uniones

### 7.7.6.1 Uniones de montaje

Deben preverse juntas de montaje en todos los sitios donde haya necesidad de mantenimiento o reemplazo de algún equipo, tal como es el caso de las válvulas necesarias para la operación de la red de distribución.

Debe tenerse en cuenta lo establecido en el literal B.6.7.4.1, Uniones de montaje de este Título. Debe cumplirse con las normas técnicas nacionales o internacionales que apliquen según material, entre otras la NTC 2346, la AWWA C111/A21.10-93, en el caso de utilizar accesorios en hierro.

### 7.7.6.2 Uniones de expansión

En caso de que existan pasos aéreos en la red de distribución, con el fin de salvar obstáculos naturales tales como ríos, quebradas, depresiones, con el fin de absorber las dilataciones o contracciones debidas a variaciones térmicas en las tuberías, deben preverse juntas de expansión; se deben prever juntas mecánicas de transición en los sitios de empalme de tubería de diferentes diámetros externos. No se podrán utilizar empalmes con tegul o plomo.

Debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.7.4.2 de este Título.

## 7.7.7 Apoyos de las tuberías

En aquellos casos en los cuales desde la etapa del diseño se requiera utilizar tuberías de la red de distribución de agua potable por fuera del terreno, deben colocarse apoyos para garantizar la estabilidad de las tuberías y simultáneamente que la deflexión en estas no supere lo establecido en las Normas Técnicas Colombianas, o en normas técnicas internacionales como las de la AWWA, ASTM, DIN, ISO o cualquier otra norma técnica internacional equivalente.

Los fabricantes de las tuberías deben especificar la longitud máxima para la localización de apoyos y estos deben contar con la aprobación previa por parte de la persona prestadora del servicio público de acueducto. De todas formas, los apoyos de las tuberías deben colocarse a una distancia menor que 0.5 m desde la unión de la tubería que queda por fuera del terreno con otras tuberías o accesorios que formen parte de la red de distribución. En el caso que se utilicen tuberías de acero, se recomiendan utilizar los valores establecidos en la tabla B.7.10, mostrada a continuación.

Tabla B. 7.10 Distancia entre apoyos de tuberías vistas, de acero

Diámetro de tubería (mm)	Espesor (mm)	Carga viva (kg/m)	Peso del líquido (kg/m)	Peso del tubo (kg/m)	Carga Total (kg/m)	Longitud máxima entre apoyos (m)
75	6.5	80	4.56	12.93	97.49	4.00
100	6.5	80	8.11	16.91	105.01	5.10
150	6.5	80	18.24	24.86	125.10	7.10
200	6.5	80	32.43	32.82	145.24	8.80
250	6.5	80	50.67	40.77	171.44	10.40
300	6.5	80	72.96	48.73	201.69	11.80
350	6.5	80	99.31	56.68	236.00	13.00
400	6.5	80	129.72	64.64	274.35	14.10
450	6.5	80	164.17	72.59	316.77	15.10
500	6.5	80	202.68	80.55	363.23	16.00
600	6.5	80	291.86	96.46	468.32	17.60
700	6.5	80	397.26	112.37	589.63	18.95
75	6.5	0	4.56	12.93	17.49	7.10
100	6.5	0	8.11	16.91	25.01	8.20
150	6.5	0	18.24	24.86	43.10	10.00
200	6.5	0	32.43	32.82	65.24	11.50
250	6.5	0	50.67	40.77	91.44	12.80
300	6.5	0	72.96	48.73	121.69	13.90
350	6.5	0	99.31	56.68	156.00	14.90
400	6.5	0	129.72	64.64	194.35	15.80
450	6.5	0	164.17	72.59	236.77	16.60
500	6.5	0	202.68	80.55	283.23	17.30
600	6.5	0	291.86	96.46	388.32	18.70
700	6.5	0	397.26	112.37	509.63	19.90

En los casos en que tuberías de materiales plásticos que puedan ser afectados por la acción de la luz ultravioleta queden por fuera del terreno, estas deben protegerse externamente de acuerdo a lo establecido en el literal B.6.5.7.1.

## 7.7.8 Acometidas domiciliarias

La acometida domiciliaria es la derivación que parte de la red de distribución local y llega hasta el registro de corte de un inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida domiciliaria llega hasta el registro de corte general. A modo de ejemplo, a continuación se presentan dos esquemas de acometidas domiciliarias que pueden ser adoptadas por el consultor.

De todas maneras, se debe tener en cuenta lo establecido en forma particular para las acometidas domiciliarias, por parte de la persona prestadora del servicio público de acueducto en el municipio dando preferencia a lo establecido por empresas regionales.

Figura B. 7.4 Esquema de Acometida Diámetro 13 mm.

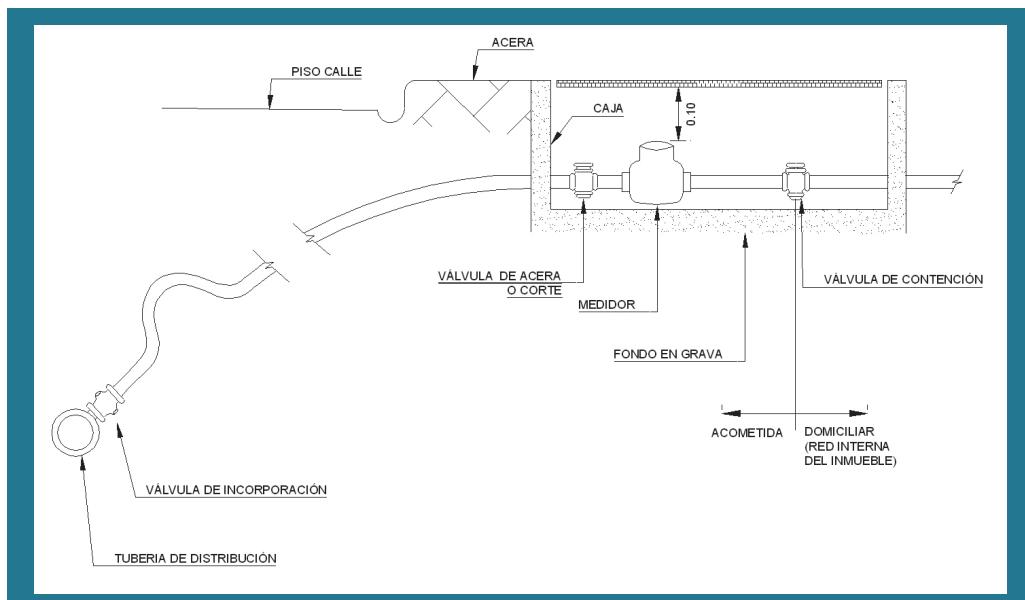
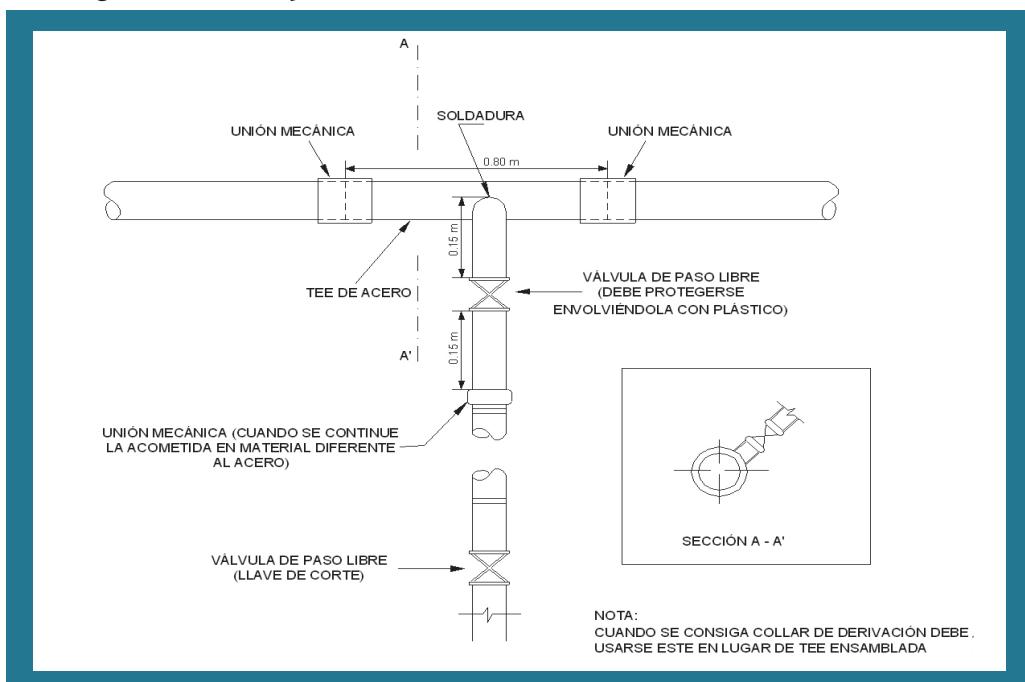


Figura B. 7.5 Esquema de Acometida utilizando derivación en TEE



En ningún caso se debe permitir el uso de acometidas domiciliarias desde la red matriz.

### 7.7.8.1 Acometidas individuales

Toda acometida domiciliaria individual debe estar compuesta por los siguientes accesorios: Unión de empalme entre la acometida y la red principal, uniones universales, tuberías en el diámetro recomendado, codos, niples, llave de registro, llave de corte, medidor para el registro del consumo de la instalación y caja de andén.

En casos especiales, el diseño debe prever el uso de válvulas de cheque, cuando exista una posibilidad de reflujo hacia la red de distribución. Para las acometidas individuales, el diseño de la red de distribución debe tener en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Las acometidas domiciliarias deben construirse conjuntamente con la red de distribución y deben llevarse hasta el hilo interior del andén, donde se dejarán taponadas.
2. Cuando se construyan las acometidas domiciliarias debe dejarse una marca grabada en el andén.
3. La conexión de la acometida con la tubería de la red de distribución debe ser en ángulo de 45° con respecto a la vertical.
4. El diámetro mínimo de la acometida domiciliaria debe ser de 13 mm.
5. Las acometidas en tuberías plásticas o de cobre menores que 25 mm de diámetro deben realizarse mediante el uso de collares de derivación y no directamente en la tubería, salvo en el caso de las tuberías que permitan termofusión o las tuberías de hierro dúctil con diámetros superiores o iguales a 250 mm.
6. El material de la tubería para las acometidas domiciliarias debe ser polietileno de alta densidad para tuberías entre 16 mm y 75 mm, cobre tipo K para diámetros hasta 25 mm o cobre tipo K o L para diámetros entre 38 mm y 75 mm. También puede utilizarse la tubería PVC RDE 21 para diámetros mayores a 50 mm, siempre que se cumpla con la Norma Técnica Colombiana NTC382 y se tengan en cuenta las profundidades mínimas requeridas para esta tubería, previa aprobación de la persona prestadora del servicio público domiciliario de acueducto.

### 7.7.8.2 Acometidas conjuntas

Para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo y para los barrios de estratos 1, 2 y 3 correspondientes a los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, se pueden utilizar acometidas conjuntas. La acometida conjunta debe cumplir con los requisitos establecidos en el literal anterior correspondiente a las acometidas individuales. Sin embargo debe tener

un diámetro mínimo de 25 mm en tanto que el medidor y la tubería de cada vivienda debe tener un diámetro de 13 mm.

## 7.7.9 Medidores

### 7.7.9.1 Medidores domiciliarios

Sin perjuicio de lo establecido en el Artículo 6 de la Ley 373 de 1997 y la Ley 142 de 1994, para todos los niveles de complejidad del sistema es obligatorio colocar medidores domiciliarios para cada uno de los suscriptores individuales del servicio del acueducto. Las excepciones a esta regla serán las establecidas en dichas leyes.

Los medidores mecánicos con diámetros entre 12.7 mm y 38.1 mm ya sean de tipo volumétrico o de tipo inferencial (velocidad), independientemente de su clase o clasificación metrológica, deben cumplir con la Norma Técnica Colombiana NTC 1063-1 o su equivalente la ISO 4064. Sin embargo, las personas prestadoras del servicio podrán optar por otras normas que se ajusten a sus necesidades particulares.

Si las personas prestadoras del servicio van a utilizar otro tipo de medidores, especialmente para diámetros mayores de 50 mm como los magnéticos, ultrasónicos, de hélice Woltman o similares, estos deberán ser fabricados e instalados según normas nacionales o internacionales que igualen o superen las características técnicas y metrológicas de las anteriores normas.

Independientemente del tipo de medidor, lo que determina la selección de estos aparatos, es la Clasificación Metrológica sobre la calidad del medidor establecida en la NTC 1063-1 y que debe aplicarse según el tipo de usuario. De acuerdo con la Resolución 151 de 2.001 de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, la clase del medidor está determinada por los valores correspondientes al caudal mínimo y al caudal de transición. Los medidores se denominan por las cuatro primeras letras mayúsculas del abecedario: A, B, C o D, organizadas de menor a mayor calidad, siendo los medidores clase A los de menor precisión para registrar caudales mínimos y los de clase D, los de mayor precisión.

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, en todos los casos, los micromedidores deben ser por lo menos tipo C.

Tabla B. 7.11 Normas técnicas referentes a micromedidores

Medidor	Norma NTC	Norma Técnica ISO	Otras normas técnicas
Tipo Turbina	NTC 1063-1	ISO 4064	AWWA C701-88
Tipo Compuesto			AWWA C702-92
Tipo Desplazamiento (Bronce)			AWWA C700-95
Tipo Multichorro			AWWA C708-96
Tipo Desplazamiento (Plástico)			AWWA C710-95
Tipo Hélice			AWWA C704-92

En el caso de edificios o conjuntos multifamiliares que superen las doce (12) unidades habitacionales, se recomienda la instalación de un medidor totalizador inmediatamente aguas abajo de la acometida. Lo anterior con el fin que queden registrados los consumos no autorizados, los cuales deberán evitarse o acreditarse al medidor de áreas comunes, si existe, o en una cuenta aparte que se genere para el medidor totalizador. También deben existir medidores individuales en cada uno de los apartamentos o interiores que conformen el edificio o conjunto multifamiliar.

En el caso de grandes consumidores no residenciales, deben instalar un medidor que corresponda como mínimo a uno tipo C.

Los usuarios de consumos superiores a diez mil (10.000) metros cúbicos mensuales, cuando así lo convengan con las personas prestadoras, podrán instalar dos medidores. El primero o principal debe ser de tipo mecánico, preferiblemente de hélice Woltman y el segundo de tipo electrónico, preferiblemente de ultrasonido, el cual servirá de sensor para pruebas de verificación periódicas del consumo medido por el principal. En caso de necesidad y especialmente cuando se presente consumos altos y bajos, el medidor principal debe ser compuesto. Los dos medidores podrán reemplazarse por un solo medidor con telemetría que cuente con un sistema de almacenamiento electrónico de datos para guardar datos históricos de consumo.

En el caso de los medidores domiciliarios, debe tenerse en cuenta los cambios tecnológicos en éstos.

Para efectos de administración, operación y mantenimiento, la Resolución CRA No.457 de 2008 que modificó artículos de las resoluciones CRA No. 151 de 2001, No.413 de 2006 y No.375 de 2006, especifica los procedimientos que deben seguirse en términos de verificación del adecuado funcionamiento de los medidores, calibración, instalación por primera vez y retiro del medidor.

Cuando la persona prestadora adelante actividades de calibración de medidores, deberá hacerlas directamente o a través de terceros, utilizando laboratorios debidamente acreditados por la entidad nacional de acreditación competente. Las personas prestadoras deben definir las acciones y su periodicidad, orientadas a verificar el adecuado funcionamiento de los medidores, atendiendo las particularidades de su sistema, con base en estudios técnicos. Sólo será posible la reposición, cambio o reparación del medidor por decisión del prestador, cuando el informe emitido por el laboratorio debidamente acreditado indique que el instrumento de medida no cumple con su función de medición.

Todas las personas prestadoras deberán adoptar sistemas de información, que les permitan llevar y actualizar el catastro de medidores, de conformidad con lo establecido para el efecto por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. En estos sistemas de información, entre otros, se debe dejar constancia de las acciones previstas de la verificación de la condición metrológica de los medidores.

### 7.7.9.2 Macromedidores

El diseño de una red de distribución de agua potable debe prever la instalación de macromedidores cuyo objetivo es obtener los datos necesarios de caudales de consumo con el fin de permitir hacer un balance de aguas en cada uno de los sectores que forman parte de la red. Este balance de agua es vital para la operación y el mantenimiento de la red así como para su planeación futura, lo mismo que para implementar un programa de control de fugas y reducción del índice de agua no contabilizada.

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, los macromedidores deben ser de tipo electromagnético. En todo caso, los macromedidores deben cumplir con las siguientes normas técnicas: NTC 1063-1, ISO 4064, AWWA C701, AWWA C702, AWWA C700, AWWA C 708, AWWA C710, AWWA C704 o cualquier otra norma internacional equivalente, previa aprobación de la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio. Para el nivel de complejidad del sistema alto, los macromedidores deben incluir telemetría.

Para el caso de los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, los macromedidores pueden ser de tipo mecánico (hélice o turbina), de presión diferencial (Venturi, placa de orificio, etc.), ultrasónico, o electromagnético. En todos los casos dichos equipos deben cumplir con las normas técnicas nacionales o internacionales vigentes.

Para la instalación de los macromedidores en la red de distribución, el diseño debe tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. Los puntos de medición de caudal deben localizarse agua abajo de la salida de los tanques. Para el nivel de complejidad del sistema alto, se requiere transmisión de datos de caudal medidos en dichos puntos vía telemétrica. Los puntos de medición de caudal también deben localizarse a la entrada de cada sector o subsector en los que se haya dividido la red de distribución de agua potable del municipio. Adicionalmente, se recomienda que en cada estación reguladora de presión que exista en la red, exista un macromedidor de caudal.
2. Los macromedidores deben tener estructuras adecuadas para su instalación. Estas estructuras son:
  - a) Conos de reducción y expansión para obtener velocidades adecuadas, en el punto de medición, las cuales deben ser mayores que 0.5 m/s con el caudal mínimo nocturno para las condiciones actuales, lo cual repercute para tener una mayor exactitud en el punto de medida. Estos conos deben tener ángulos de inclinación menores que 8°, con el fin de no afectar el perfil de velocidades y mantener las presiones menores bajas.
  - b) Sección de verificación, para la comprobación del estado del medidor electromagnético, utilizando medidores de flujo

- ultrasónicos portátiles (con configuración de mínimo dos planos de medida) o con varilla electromagnética, durante el tiempo que se considere necesario.
- c) Instalación de válvulas de cierre aguas abajo del medidor para que sea posible verificar el cero del equipo.
  - d) Instalación de tomas para el análisis de agua en un sitio definido, que no altere la medición del caudal.
3. Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, en los cuales la red de distribución de agua potable sea operada por empresas diferentes, al inicio de cada uno de los sectores concedidos a dichas empresas debe existir un macromedidor con el fin de contabilizar el agua que está siendo entregada a cada uno de ellos. Esta estación debe estar complementada con un punto de medición de la calidad de agua entregada al concesionario.
  4. En el caso de redes de distribución correspondiente a zonas de abastecimiento bien diferenciadas y que puedan ser susceptibles de aislamiento por medio de una o dos tuberías de alimentación, deben colocarse macromedidores de caudal en dichas tuberías.

## 7.7.10 Salidas para mediciones

En todos aquellos casos en que se tengan tuberías con diámetros nominales mayores que 300 mm, el diseño debe incluir el uso de salidas para la medición de algunos parámetros, tales como caudal, presión y calidad de agua, cumpliendo con los siguientes requisitos:

1. Las salidas deben tener un diámetro mínimo de 25 mm y deben colocarse en forma perpendicular a la clave de las tuberías.
2. Las salidas deben ubicarse cada 500 m y también 10 diámetros antes y después de cualquier accesorio de control. En este último caso se entiende que el diámetro corresponde al diámetro de la tubería donde se instala la salida.
3. Las salidas deben quedar perfectamente referenciadas en los planos de la red de distribución, teniendo en cuenta todo lo establecido en el sistema de información geográfica utilizado por la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio, dando preferencia a lo establecido por empresas regionales, en caso que estas existan.

## 7.7.11 Instalación de aparatos telemétricos

Para el nivel de complejidad del sistema alto se recomienda que desde la etapa de diseño se incluya la instalación de aparatos telemétricos para medir la presión de agua en la red, con el fin de conocer en tiempo real la hidráulica en todo el sistema de distribución de agua potable. Los datos recolectados de esta forma

deben organizarse de tal forma que puedan analizarse directamente, en caso que se requiera, en el programa de simulación hidráulica de la red de distribución de agua potable. Este requisito se recomienda para el nivel de complejidad del sistema medio alto.

## 7.7.12 Hidrantes

### 7.7.12.1 Aspectos generales de los hidrantes

Los hidrantes deben instalarse en tuberías con un diámetro mínimo de 75 mm y a una distancia máxima entre ellos de 300 m. Cada hidrante llevará su propia válvula para aislarlo de la red. Se ubicarán de preferencia en las esquinas, en las intersecciones de dos calles y sobre la acera, para un mejor acceso.

Debe consultarse con el cuerpo de bomberos local con el fin de definir y estandarizar el tipo y diámetro de las conexiones para mangas que va a utilizar. Dependiendo del tipo de hidrante, ya sea de núcleo húmedo o seco, deben cumplirse las normas técnicas colombianas correspondientes o, en su ausencia, con las Normas AWWA C502-94 ó AWWA C550-90.

### 7.7.12.2 Capacidad hidráulica de los hidrantes

Para los niveles de complejidad del sistema alto, en áreas comerciales, industriales o residenciales con una densidad superior a 200 habitantes por hectárea, los hidrantes deben tener una capacidad mínima de 32 L/s. Para los demás niveles de complejidad del sistema, en áreas comerciales, industriales o residenciales con una densidad superior a 200 habitantes por hectárea, los hidrantes deben tener una capacidad mínima de 20 L/s. Para las demás áreas del municipio la capacidad mínima de los hidrantes debe ser de 5 L/s.

### 7.7.12.3 Diámetros mínimos de hidrantes

Para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, los diámetros mínimos de los hidrantes contra incendios, colocados en la red de distribución de agua potable, son de 75 mm.

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, los diámetros mínimos de los hidrantes contra incendios, colocados en la red de distribución de agua potable deben ser de 75 mm y 100 mm, para tuberías de hasta 150 mm de diámetro nominal. Para tuberías con diámetros nominales superiores o iguales que 150 mm, los hidrantes deben tener un diámetro de 150 mm.

### 7.7.12.4 Número y distancia máxima entre hidrantes

Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio o para los barrios de estrato 1 y 2 en los niveles de complejidad del sistema medio alto y

alto el número de hidrantes depende de la protección exigida por los edificios públicos, las escuelas, los colegios, etc. En caso de no existir este tipo de edificios, la persona prestadora del servicio público de acueducto en el municipio debe definir la cantidad y la ubicación de los hidrantes.

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, en los barrios de estratos 3, 4, 5 y 6 debe colocarse un hidrante por lo menos cada 200 m. En las zonas con bloques multifamiliares debe colocarse un hidrante por lo menos cada 150 m.

En las zonas industriales y comerciales de alto valor debe ponerse un hidrante en cada bocacalle y a una distancia no mayor que 100 m.

### 7.7.12.5 Localización de los hidrantes

La localización de hidrantes debe cumplir los siguientes requisitos:

1. Los hidrantes deben instalarse en el límite de dos predios, aproximadamente a 10 m de la intersección de los paramentos y en una zona verde o en el andén.
2. Cuando se coloquen en el andén no deben instalarse a una distancia mayor que 0.5 m del borde exterior hacia adentro.
3. Cuando se instalen sobre la zona verde, no deben ponerse a una distancia menor que 0.5 m del borde exterior del cordón.
4. Los hidrantes deben instalarse alejados de obstáculos que impidan su correcto uso.
5. No deben localizarse en las calzadas de las vías ni contiguos a postes u otros obstáculos que no permitan su correcto uso en caso de incendio.
6. Las bocas de los hidrantes deben quedar hacia la calle.
7. En la instalación del hidrante deben colocarse tantas extensiones sean necesarias para que el hidrante quede saliente en su totalidad por encima del nivel del terreno.
8. Antes de colocar el hidrante debe comprobarse si su funcionamiento es correcto.

### 7.7.12.6 Presión en los hidrantes

Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, la presión mínima en los hidrantes debe ser la correspondiente a 29.43 kPa (3 m.c.a.). En estos casos, la presión requerida para combatir el incendio podrá ser suministrada por el equipo de bombeo propio de los carros del cuerpo de bomberos.

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, para zonas residenciales la presión mínima en los hidrantes debe ser de 98.1 kPa (10 m.c.a.) y para las zonas comerciales e industriales o zonas residenciales con edificios multifamiliares, la presión mínima debe ser de 196 kPa (20 m.c.a.).

La presión máxima de trabajo de los hidrantes debe ser de 980 kPa (100 m.c.a.) y deben soportar una presión de prueba de 1960 kPa (200 m.c.a.).

### 7.7.12.7 Instalación y anclaje de los hidrantes

En la base del hidrante debe construirse un anclaje especial, de acuerdo con el tipo de suelo.

El hidrante debe asegurarse en el pie con un anclaje de concreto reforzado, el cual debe diseñarse de acuerdo con los principios establecidos en el Título G del RAS: "Aspectos complementarios".

### 7.7.12.8 Color de los hidrantes

La parte superior del hidrante debe pintarse de acuerdo con su caudal y siguiendo normas internacionales, tal como se establece a continuación.

Rojo:	Caudales hasta 32 L/s
Amarillo:	Caudales entre 32 y 63 L/s
Verde:	Caudales superiores a 63 L/s.

## 7.7.13 Accesorios menores en redes de distribución

Los accesorios menores comprenden todos los accesorios de las tuberías de la red de distribución que permiten formar cambios de dirección, ramificaciones, intersecciones, así como conexiones entre tuberías de diferentes materiales y diámetros, el diseño debe asegurar que en el mercado existan adaptadores que permitan la conexión entre accesorios de diversos materiales, teniendo en cuenta todas las normas nacionales e internacionales vigentes.

## 7.7.14 Estructuras complementarias para las redes de distribución

Para el nivel de complejidad del sistema alto y como recomendación para los demás niveles de complejidad del sistema, las redes de distribución de agua potable pueden contemplar estructuras complementarias con el objetivo de garantizar una correcta prestación del servicio, en cuanto a las presiones mínimas y máximas y a los caudales entregados en cada uno de los nodos de consumo de la red. Estas estructuras complementarias deben incluirse dentro del diseño de la red.

### 7.7.14.1 Estaciones reguladoras de presión

El uso de este tipo de estaciones debe preverse siempre y cuando se cumpla con los siguientes requisitos:

1. Las estaciones reguladoras de presión deben colocarse con el fin de reducir la altura de presión hasta un valor menor y establecer un nuevo nivel del plano de presiones en el sector o subsector hidráulico inmediatamente agua abajo de ellas.
2. El empleo de las estaciones reguladoras de presión es necesario cuando las presiones máximas de servicio de la red de distribución queden por fuera de los límites admisibles de presión mencionados en los literales anteriores.
3. El uso de las estaciones reguladoras de presión debe establecerse cuando se implemente un programa para el control de pérdidas y reducción del índice de agua no contabilizada en el sector o subsector hidráulico. En estos casos la estructura debe ir acompañada de sus correspondientes instrumentos para la medición de caudales y de presiones tanto aguas arriba como aguas abajo de la válvula.
4. En los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, las estaciones reductoras de presión pueden basarse en el uso de válvulas reductoras de presión, o en el uso de cámaras de quiebre de presión que alcancen a igualar la presión a la presión atmosférica correspondiente.

### 7.7.14.2 Cajas de estaciones reguladoras de presión

En el caso específico de las cajas para las estaciones reguladoras de presión, se debe incluir un dimensionamiento especial de estas, debido al cálculo especial que tienen los diámetros de las válvulas reguladoras y al tipo de equipo de control hidráulico y electrónico que contengan. El diseño de las válvulas (i.e. diámetros) y de las dimensiones de la caja que conforma la estación reguladora de presión debe seguir todo lo establecido en el literal B.6.7.2.2 de este Título.

### 7.7.14.3 Anclajes

Los anclajes son necesarios para garantizar la estabilidad de tuberías y accesorios en aquellos sitios donde haya cambios en la dirección del flujo dentro de la red de distribución, cambios en los diámetros de las tuberías, ampliaciones/extensiones de los diámetros de las tuberías, separaciones o divisiones del caudal en puntos en los cuales la tubería instalada no tenga los mecanismos necesarios para soportar las fuerzas hidrodinámicas, o en puntos en los cuales la tubería enterrada no cuente con una interacción suficiente con el suelo que le permita soportar dichos esfuerzos debidos a la presión. En el caso del diseño de los

anclajes, el consultor debe tener en cuenta todo lo establecido en las normas y manuales de construcción de las personas prestadoras del servicio de acueducto en el municipio, dando preferencia a lo establecido en empresas regionales.

Adicionalmente, para los anclajes deben tenerse en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Los anclajes deben ser macizos de concreto, el cual debe sobresalir por lo menos 0.1 m sobre la clave del accesorio o la tubería.
2. En los anclajes, las uniones de los accesorios con la tubería deben permanecer libres para casos de reparación y/o mantenimiento.
3. Los anclajes deben fundirse sobre terreno firme y no removido.
4. Con base en los estudios de suelos se debe conocer el coeficiente de fricción en los sitios específicos de cambios hidrodinámicos, de tal manera que se puede establecer si el trabajo a fricción entre la tubería y sus accesorios con el suelo es suficiente para soportar los esfuerzos dinámicos.
5. El área de apoyo del anclaje se calcula de acuerdo con el procedimiento constructivo que se escoja, ya sea que el anclaje trabaje por gravedad o por fricción.
6. Los espigas y campanas de tuberías no pueden quedar dentro del anclaje y se debe respetar una distancia mínima de 20 cm de la campana-espigo.
7. El consultor también debe consultar los manuales técnicos de los fabricantes.

#### 7.7.14.4 Estructuras especiales para protección de tuberías

Cuando las tuberías de la red de distribución de agua potable crucen vías de alto tráfico, vías férreas, vías de sistemas de transporte masivo urbano, quebradas, ríos o canales de drenaje, calles o carreras u otros obstáculos naturales o artificiales, y no sea posible la solución de tubería enterrada con su debida protección, incluyendo el uso de tecnologías sin zanja para la instalación de la tubería, deben proyectarse estructuras especiales con el objetivo de garantizar la seguridad de las tuberías, estando estas estructuras especialmente concebidas para resistir las cargas y los esfuerzos resultantes de la colocación de la tubería. Adicionalmente, el diseño de la red de distribución debe garantizar que las estructuras especiales cumplan con los siguientes requisitos:

1. Las estructuras especiales, deben construirse en metal, mampostería o concreto o cualquier otro material que tenga la aprobación previa de la persona prestadora del servicio público de acueducto.
2. Toda estructura especial debe contar, en el diseño, con el respectivo cálculo de estructuras y su generación de alternativas, siguiendo la metodología establecida en el literal B.7.4.12.

3. El diseño debe determinar las cargas externas utilizando las especificaciones de los fabricantes de la tubería.
4. En los sitios donde el diseño especifique la construcción de una estructura especial, no se deben tener cambios de dirección, contracciones, expansiones o aparatos para el cierre de las tuberías.
5. Los esfuerzos que deben ser considerados para el dimensionamiento estructural de los conductos y de las obras para su sustentación, combinados o separados, son los siguientes:
  - a) Presiones internas en las tuberías.
  - b) Cargas externas a la tubería.
  - c) Peso propio de la tubería y peso del agua transportada cuando ésta se encuentre completamente llena.
  - d) Esfuerzos producidos por cambios de dirección, de contracciones, y de accesorios, en caso que éstos existan.
  - e) Esfuerzos resultantes por expansión o contracción térmica en el material de la tubería.
6. Los esfuerzos que deben ser considerados desde la etapa de diseño en las instalaciones de tuberías externas sobre apoyos discontinuos deben ser los resultantes del peso propio del conducto, del peso del agua contenido en la tubería cuando ésta se encuentre completamente llena, de las cargas externas presentes y de los esfuerzos causados por expansión y/o contracción térmica.
7. Se recomienda que los conductos que crucen vías de alto tráfico, vías de sistemas de transporte masivo urbano o vías férreas se coloquen dentro de camisas de mayor diámetro. En particular debe hacer énfasis en las tecnologías de hincado de tuberías y de perforación dirigida.
8. En caso que una o varias de las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable crucen quebradas u otras estructuras que no puedan removverse, el diseño debe incluir los dispositivos más convenientes y proyectar las defensas necesarias para garantizar la integridad de los conductos de la red. En particular, los cruces de canales, quebradas y ríos que conformen la red de drenaje natural del municipio, deben realizarse en tuberías de acero con un espesor de 6.5 mm como mínimo.

En algunos casos especiales, las tuberías de la red de distribución o tramos de ésta requieren de protecciones especiales indicadas en el literal B.6.5.7. La protección de las tuberías de la red de distribución, no enterradas, debe ser obligatoria cuando éstas atraviesan zonas locales donde pueden estar sujetas a daños de cualquier naturaleza, provocada por agentes reales o potenciales.

## 7.8 Referenciación de componentes

En todos los planos de diseño, el consultor debe dejar claramente establecida la referenciación de todos los componentes que conforman las redes de distribución. Esto es aplicable tanto para el caso de redes nuevas como para el caso de ampliaciones/extensiones a sistema existentes.

### 7.8.1 Catastro de la red

Para todos los niveles de complejidad del sistema, en el caso de las redes de distribución de agua potable debe contarse con un catastro actualizado de la red, que incluya el inventario de todas las tuberías y los accesorios existentes, incluyendo la localización y las especificaciones en cada componente de acuerdo con lo estipulado en los siguientes literales. El catastro debe incluir todos los accesorios tales como válvulas, hidrantes, estaciones reguladoras de presión, y todos los accesorios importantes que formen parte de la red de distribución, con sus respectivas especificaciones técnicas. El catastro debe estar almacenado en planos que formen parte del sistema de información geográfica especificado por la persona prestadora del servicio público de acueducto, dando preferencia a lo establecido en empresas regionales. En todos los casos las redes de distribución nuevas o ampliaciones a líneas existentes, deben quedar referenciadas como se indica en el literal B.7.8.3.

### 7.8.2 Convenciones que deben utilizarse

Las tuberías, válvulas e hidrantes referenciados deben numerarse y encerrarse en figuras convencionales, al anotarse en las tarjetas especiales de referenciación, de la siguiente forma: los tramos de las tuberías deben ir encerrados en triángulos; las válvulas deben ir encerradas en círculos y numeradas; los hidrantes deberán ir encerrados en cuadrados y numerados.

### 7.8.3 Referenciación general de las redes de acueducto

Las redes de acueducto deben referenciarse con respecto a los BM de la persona prestadora del servicio público de acueducto, en caso que éstos existan, o con respecto a los BM del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

La referenciación de tuberías y accesorios debe realizarse con respecto a los puntos fijos más cercanos y preferiblemente a los paramentos definitivos, entendiéndose por éstos el borde interior del andén.

En ningún caso debe referenciarse la red de acueducto a postes de energía o de teléfonos, a cámaras de inspección de alcantarillado ni a los accesorios del acueducto. Cualquier dificultad que se presente con respecto a la referenciación de las redes de acueducto debe consultarse con la oficina de planeación municipal o con el departamento de diseño, en caso que exista, de la persona prestadora del servicio público de acueducto en el municipio.

## 7.8.4 Referenciación particular de tuberías

### 7.8.4.1 Tuberías y paramentos rectos

Para referenciar tuberías respecto a paramentos rectos deben tomarse tres referencias, de la siguiente forma: una en cada una de las dos esquinas de la cuadra y una en el centro.

Las referenciaciones de las dos esquinas deben realizarse a partir de la intersección de paramentos. Cada una de ellas debe realizarse a ambos paramentos de la vía considerada. También debe medirse la longitud de la cuadra por el paramento que se encuentre mejor definido.

### 7.8.4.2 La tubería o los paramentos o ambos compuestos por tramos rectos

En este caso deben referenciarse todos los quiebres de la tubería con respecto a ambos paramentos mediante líneas normales a éstos, anotando la distancia de cada punto de referenciación a una misma esquina.

### 7.8.4.3 Paramentos curvos y tubería recta o curva

Si el trazado de la tubería es curvo, desde los puntos fijos de esquinas, a lo largo de los paramentos deben medirse distancias de 10 m y si la tubería es recta deben medirse distancias de 20 m hasta llegar a puntos fijos de las esquinas próximas. Se unen los puntos correspondientes de un costado al otro y sobre éstas líneas se referencia la tubería.

### 7.8.4.4 Datos que deben anotarse en la referenciación de tuberías

Para la referenciación de las tuberías de la red de distribución de agua potable deben anotarse los siguientes datos:

- Diámetro.
- Clase y presión de la tubería
- Material.

- Profundidad.
- Fecha de instalación.
- Tipo de unión (campana y espigo, dresser, etc.)
- Marca de la tubería
- Revestimiento de la tubería.

## 7.8.5 Referenciación de los accesorios de las tuberías

En el caso de la referenciación de tapones y codos debe anotarse la distancia de estos a la esquina más próxima, la distancia al paramento y la longitud total de la cuadra. Se recomienda, además, anotar el número del inmueble citado al frente del tapón o codo. En el caso de tees, uniones especiales y cruces, éstas deben referenciarse con respecto a las intersecciones de los paramentos. Para la referenciación de los accesorios que forman parte de la red de distribución de agua potable se deben anotar los siguientes datos:

- Tipo de accesorio.
- Diámetro.
- Material.
- Presión de trabajo.
- Tipo de unión.
- Fecha de instalación.

## 7.8.6 Referenciación de las válvulas

Las válvulas siempre deben referenciarse a dos hilos de paramento de la esquina más cercana. En ningún caso, la referenciación debe realizarse a puntos de la tubería, ya sean ellos codos, hidrantes, válvulas, etc.

La información que debe incluir la referenciación de las válvulas es la siguiente:

- Marca.
- Tipo: de compuerta, mariposa, de globo, etc.
- Diámetro.
- Posición (horizontal o vertical).
- Material.
- Fecha de instalación.
- Profundidades de la base.
- Número de vueltas para cerrar la válvula.
- Dirección de cierre de la válvula.
- Modo de operación.
- Uniones con la tubería.
- Presión de trabajo.

## 7.8.7 Referenciación de hidrantes

Siempre deben referenciarse los hidrantes con respecto a la esquina más próxima, anotando la distancia a ésta y al paramento. Igualmente se debe referenciar la tubería alimentadora del hidrante, el ramal y la válvula auxiliar, siguiendo las normas para cada una de ellas establecidas en el literal B.7.8.6.

En toda referenciación de hidrantes deben anotarse por lo menos, los siguientes datos:

- Marca.
- Número de bocas.
- Diámetro de la boca o bocas de salida.
- Diámetro de la tubería alimentadora.
- Tipo de hidrante.
- Fecha de instalación.
- Clase del hidrante.
- Caudal de descarga.
- Presión de trabajo.

## 7.8.8 Referenciación de estructuras y estaciones reguladoras

Los datos de referenciación deben ser acordados entre el consultor y la persona prestadora del servicio público de acueducto. Las referencias deberán dejarse materializadas con mojones que sirvan como puntos de referencia, cuidando que queden en sitios estables y perdurables con el tiempo. El número de referencias y su ubicación las definirá conjuntamente el consultor y/o interventor y el topógrafo del proyecto.

La información que debe incluir la referenciación de las estructuras y estaciones reguladoras es la siguiente:

- Marca.
- Tipo: reguladora de presión, reguladora de caudal, etc.
- Diámetro.
- Material.
- Fecha de instalación.
- Modo de operación.
- Presión de trabajo.
- Caudal de trabajo.

## 7.8.9 Sistemas de información geográfica

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, y como recomendación para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, la

referenciación de todos los componentes de las redes de distribución de agua potable, deben utilizar el sistema de información geográfica establecido por la persona prestadora del servicio público de acueducto en el municipio. Dicho sistema de información geográfica debe permitir el manejo de toda la información de la red de distribución de agua potable en forma digital, especialmente para facilitar las entradas a los modelos matemáticos hidráulicos para el cálculo de la red de distribución de agua potable y para las demás bases de datos utilizadas por la empresa. Adicionalmente, el sistema de información geográfica adoptado debe permitir realizar actualizaciones y seguimiento continuo de la red, alimentándolo fácilmente con cualquier información nueva generada por procesos de mantenimiento y/o reposición de tuberías o accesorios, en forma simple y rápida.

### 7.8.10 Uso de la referenciación en conjunto con herramientas de tecnologías de información

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, la tecnología de información debe permitir la actualización permanente de la información de las bases de datos y de los sistemas de información geográfica definidos por la persona prestadora del servicio público de acueducto. Con el fin de cumplir con este requisito se debe contar con una referenciación adecuada de cada uno de los componentes de tal forma que genere información útil para la actualización.

La información proveniente de la referenciación debe consolidarse en formatos digitales compatibles con las bases de datos y con los sistemas de información geográfica definidos por la persona prestadora del servicio público de acueducto, dando siempre preferencia a aquellos sistemas que hayan sido definidos por empresas regionales.

## 7.9 Aspectos de la puesta en marcha de las redes de distribución

Una vez que la red diseñada haya finalizado su etapa de construcción, la persona prestadora del servicio público de acueducto debe asegurar la realización de las pruebas descritas en los literales B.7.9.1 a B.7.9.8 de este Título. La persona prestadora del servicio público de acueducto debe asegurar antes que el sistema entre en operación definitiva, que todas pruebas estén de acuerdo

con el protocolo de pruebas establecido por el consultor que diseñó la red de distribución tal como se mencionó en los literales anteriores.

## 7.9.1 Presiones en la red de distribución

### 7.9.1.1 Presiones hidrostáticas y estanqueidad

Una vez que haya finalizado la construcción de una red de distribución nueva o la ampliación de una red existente, se deben llevar a cabo pruebas sobre todas las tuberías instaladas, con una presión igual que 1.5 veces la presión máxima a las que las tuberías vayan a estar sometidas, de acuerdo con su diseño. Dentro de las presiones que se deben considerar están las presiones estáticas, las presiones dinámicas y aquellas presiones causadas por fenómenos de golpes de ariete en la red.

La presión debe aplicarse con una bomba de émbolo provista de manómetros, instalada en la parte baja de la tubería que vaya a probarse. En todas las pruebas de presión hidrostática deben tenerse en cuenta las normas técnicas correspondientes a cada material de tuberías y accesorios. Adicionalmente, para la realización de las pruebas se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Las pruebas deben realizarse bajo la vigilancia y aprobación de la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio.
2. La prueba debe realizarse en tramos comprendidos entre válvulas siempre y cuando esta distancia no sea mayor que 500 m. Si en el municipio existe algún caso que no cumpla con esta restricción, la persona prestadora del servicio público de acueducto podrá exigir para la prueba que los tramos a ser probados se subdividan mediante cualquier sistema adecuado, tal como la instalación de tapones exteriores.
3. La tubería debe llenarse lentamente y a baja presión para permitir la salida de aire, el cual debe ser completamente evacuado de la tubería, y por cualquier sistema, antes de aplicar la presión de prueba.
4. La tubería debe mantenerse sometida a la presión de prueba durante un período no inferior a dos horas.
5. Deben tenerse en cuenta las recomendaciones de las casas fabricantes de las tuberías, en lo relacionado con la forma, duración, etc., de la prueba a presión. Se recomienda que un representante técnico del fabricante esté presente durante la realización de las pruebas.
6. Para todos los niveles de complejidad del sistema, las pruebas de presión hidrostática deben realizarse antes de cubrir las zanjas de las tuberías que conforman la distribución de la red.

de agua potable. Para el nivel de complejidad del sistema alto, en aquellos casos en que la persona prestadora del servicio público de acueducto lo considere factible desde el punto de vista del impacto urbano y la interrupción del tráfico, las pruebas se deben hacer antes de cubrir las zanjas; en caso contrario las pruebas deben realizarse después de haber cubierto las zanjas.

7. La prueba de estanqueidad se debe considerar como exitosa si el escape de agua, en L/h es inferior al indicado en la Ecuación (B. 7.23) mostrada a continuación.

$$E = \frac{N \times D \times P^{1/2}}{7.35} \quad (\text{B. 7.23})$$

donde:

- E = Escape permitido (L/h).
- N = Número de uniones en el circuito probado, sin incluir uniones soldadas.
- D = Diámetro interno real de la tubería (m).
- P = Presión de ensayo hidráulico (Pa).

Toda la longitud del tramo o circuito de la red de distribución que se someta a las pruebas de presión y estanqueidad debe recorrerse y revisarse cuidadosamente y deben repararse los tramos de tubería que fallen y las uniones defectuosas. Si resultan daños durante la prueba de presión hidráulica, el costo de la reparación de tuberías y accesorios deberá ser asumido por el constructor o el consultor, teniendo en cuenta la causa de la falla.

### 7.9.1.2 Presiones dinámicas y alturas piezométricas

Para todos los niveles de complejidad del sistema, y con el objetivo de verificar lo establecido en el protocolo de pruebas del diseño de la red de distribución, se debe medir la altura piezométrica en diferentes puntos de la red, para condiciones extremas de flujo, incluyendo el caudal máximo horario (QMH), el caudal medio diario (Qmd), el caudal mínimo nocturno para las condiciones actuales, y en general cualquier otra condición de operación de la red, que resulten de casos especiales, y que se encuentren recomendadas en el protocolo de pruebas. En todos los casos, los puntos escogidos para la medición de las presiones deben incluir aquellos que para las diferentes condiciones de operación presenten las máximas presiones y las mínimas presiones, para todas las condiciones hidráulicas en las que se pruebe la red.

Todos los datos tomados sobre presiones y alturas piezométricas en la red de distribución, como parte de las pruebas al final del período de construcción y que hayan sido especificadas en el protocolo de pruebas, deben guardarse en la base de datos y en el sistema de información geográfica adoptado por el municipio o la persona prestadora del servicio público de acueducto. Esta disposición se recomienda para los niveles de complejidad del sistema medio y

bajo. Los resultados de campo, para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, deben ser comparados con aquellos calculados mediante el uso del modelo hidráulico de la red de distribución de agua potable, operando bajo las mismas condiciones.

## 7.9.2 Desinfección de la red de distribución

Antes de poner en servicio cualquier red de distribución, ésta debe ser desinfectada. La desinfección debe ser hecha por el instalador de la tubería.

Para la desinfección de la red de distribución deben tenerse en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Antes de la aplicación del desinfectante, la tubería debe lavarse haciendo circular agua a través de ella, y descargándola por las válvulas de purga con el objeto de remover todo material extraño.
2. El desinfectante debe aplicarse donde se inicia la ampliación de la red de distribución, para el caso de ampliaciones/extensiones, o en el inicio de la red de distribución, cuando ésta sea una red de distribución nueva. Para secciones de la red de distribución localizada entre válvulas, el desinfectante debe aplicarse por medio de una llave de incorporación.
3. Debe utilizarse cloro o hipoclorito de sodio como desinfectante. La tasa de entrada a la tubería de la mezcla de agua con gas de cloro debe ser proporcional a la tasa de agua que entra al tubo.
4. La cantidad de cloro debe ser tal que produzca una concentración mínima de 50 ppm.
5. El período de retención del agua desinfectada dentro de la red de distribución de agua potable no debe ser menor que 24 horas. Después de este período de retención, el contenido de cloro residual en los extremos del tubo y el los demás puntos representativos debe ser de por lo menos 5 ppm.
6. Una vez que se haya hecho la cloración y se haya dejado pasar el período mínimo, debe descargarse completamente la tubería. Cuando se hagan cortes en alguna de las tuberías que conforman la red de distribución con el fin de hacer reparaciones, la tubería cortada debe someterse a cloración a lado y lado del punto de corte.
7. Se debe hacer un muestreo final para llevar a cabo un análisis microbiológico. En caso que la prueba microbiológica demuestre una calidad de agua que no cumpla con el decreto 1575 de 2007, la tubería debe desinfectarse nuevamente.
8. El proceso de desinfección debe realizarse según la Norma NTC 4246 o la Norma AWWA C 651.

## 7.9.3 Golpe de ariete

Para todos los niveles de complejidad del sistema, una vez finalizada la instalación de la red de distribución, debe realizarse una prueba para verificar lo establecido por el diseño con respecto al golpe de ariete. Esta prueba debe llevarse a cabo en las condiciones extremas de operación normal de las válvulas que conforman los diferentes sectores de la red de distribución de agua potable. Se debe verificar que las presiones estén dentro los rangos calculados y que las estructuras antigolpe de ariete estén operando adecuadamente. Los datos de sobrepresiones y subpresiones detectados deben ser guardados para ser enviados, en caso de ser requeridos, a la SSPD.

## 7.9.4 Válvulas

En el momento de entregar el proyecto de la red de distribución de agua potable, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos referentes a la puesta en marcha de las válvulas.

### 7.9.4.1 Equipo electromecánico

Para todas las válvulas mecánicas o electromecánicas, debe verificarse el correcto funcionamiento antes de poner en servicio la red.

### 7.9.4.2 Presiones

Todas las válvulas, antes de ser instaladas en la red de distribución, deben ser operadas para comprobar y asegurar su perfecto funcionamiento. En lo posible, todas las válvulas deben probarse al doble de la presión de trabajo en los talleres de la persona prestadora del servicio público de acueducto o en la casa fabricante, siempre y cuando la prueba se encuentre certificada por un organismo de certificación. La prueba hidrostática de las válvulas se encuentra en las normas técnicas correspondientes (Véase tabla B. 6.39).

Se recomienda que una vez instaladas en la red de distribución, las tuberías que tienen instaladas válvulas sean sometidas a pruebas estáticas que lleven la presión a 1.5 veces la presión de trabajo de esa zona de la red de distribución con el fin de verificar la unión de la válvula con las tuberías.

### 7.9.4.3 Válvulas reguladoras de presión

En caso que la red diseñada haya incluido el uso de válvulas reguladoras de presión, además de las pruebas de presión establecidas en los literales anteriores, se debe verificar la operación hidráulica de estas, es decir se debe verificar cuál es la caída en la presión que presentan como función en el grado de apertura

de las válvulas y del caudal que está pasando a través de ellas. Con estos datos es posible verificar la ecuación de reducción de la presión suministrada por el fabricante de la válvula. Esta ecuación es vital para proceder a la modelación hidráulica de la red de distribución de agua potable, para el caso de los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto.

#### 7.9.4.4 Estaciones reguladoras de presión

En el caso que en la red de distribución de agua potable existan estaciones reguladoras de presión, el protocolo de pruebas debe establecer el tipo de mediciones que deben realizarse a dichas estaciones. En particular, se debe verificar el correcto funcionamiento de todas las válvulas de cierre, válvulas de flujo lateral (*by pass*), válvulas de cheque, equipos de medición de presión y equipos de medición de caudal para diferentes condiciones de operación del sistema de distribución. Particularmente, se debe verificar la ecuación que relaciona el caudal con la caída de presión en función de la apertura de la válvula.

Con respecto a los equipos de medición de caudales y presión, se debe verificar su correcta operación con equipos adicionales. En el caso de los macromedidores de caudal, y utilizando el espacio dejado para este propósito, se debe verificar la precisión de medida utilizando aparatos no intrusivos en las tuberías, tales como medidores electromagnéticos o medidores de efecto Doppler acústico. En el caso de medidas de presión, la lectura de los manómetros o transductores de presión debe ser verificada con otro juego de manómetros en las salidas dejadas para tal fin.

Para el nivel de complejidad del sistema alto, también debe verificarse la correcta instalación y el funcionamiento de los equipos telemétricos solicitados en los sitios de macromedición de caudal y de presiones.

#### 7.9.4.5 Válvulas de purga o descarga

En todas las válvulas de descarga o purga que existan en la red de distribución de agua potable, debe verificarse su correcto funcionamiento y medir el caudal y la velocidad de salida de agua bajo diferentes condiciones de operación. También debe verificarse el correcto funcionamiento de las estructuras y conductos de desagüe del agua que sale de la red de distribución y su flujo hacia la red de alcantarillado o hacia la red de drenaje urbano de la ciudad. Si la válvula tiene una estructura de disipación de energía debe verificarse su correcto funcionamiento midiendo velocidades y profundidades aguas abajo. Este tipo de pruebas también deben realizarse a las válvulas o tapones colocados en los puntos muertos de la red, con el fin de verificar su funcionalidad ante futuras operaciones de lavado.

#### 7.9.4.6 Ventosas

En todas las ventosas que existan en la red de distribución de agua potable deben realizarse las pruebas correspondientes que aseguren su correcto funcionamiento para las diferentes condiciones normales de operación establecidas por el diseño y particularmente para las condiciones de vaciado de tuberías, verificando que queden cubiertas.

Las ventosas deben cumplir con las normas técnicas colombiana correspondientes, o con la Norma AWWA C 512-92.

#### 7.9.4.7 Aislamiento de sectores

Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto y para el nivel de complejidad del sistema medio en los que la red de distribución diseñada se encuentre dividida en sectores y/o subsectores, de acuerdo con la hidráulica, y especialmente en el caso de la implementación de ampliaciones/extensiones a redes de distribución existentes, durante la puesta en marcha debe verificarse que cada uno de los sectores de la red se encuentre perfectamente aislado mediante la operación de las diferentes válvulas existentes para llevar a cabo esa función. Durante las pruebas debe procederse a cerrar las válvulas y a verificar que en la zona aislada la presión se mantenga a lo largo de un periodo de prueba no inferior a una hora. En aquellos casos en que se utilizan válvulas de cierre para conectar dos sectores hidráulicos, con el propósito de permitir operaciones especiales de mantenimiento o durante emergencias, su mantenimiento se debe verificar abriendo las válvulas y simulando la operación de emergencia o mantenimiento especial, la cual debe formar parte del protocolo de pruebas entregado por el consultor.

Para el nivel de complejidad del sistema alto, todas las pruebas realizadas para verificar el aislamiento de los sectores hidráulicos deben simularse en el modelo hidráulico de la red de distribución entregado por el consultor. Este requisito se recomienda para el nivel de complejidad del sistema medio alto.

### 7.9.5 Hidrantes

Una vez finalizada la construcción de la red de distribución de agua potable o una ampliación de esta, para todos los niveles de complejidad del sistema, debe verificarse la operación de los hidrantes.

Para cada uno de los hidrantes que conforman la red de distribución deben verificarse los siguientes aspectos: caudal, presión en el hidrante para diferentes horas del día estando el hidrante cerrado, presión a la salida en el hidrante cuando se encuentre operando a caudal máximo y color del hidrante. Debe ponerse especial atención a la correspondencia entre el color del hidrante y el caudal de salida, de acuerdo con lo establecido en el literal B.7.7.13.8 de este Título.

## 7.9.6 Acometidas domiciliarias

Antes de proceder a la instalación de todos los accesorios que conforman las acometidas domiciliarias de la red de distribución de agua potable, deben someterse los medidores, las piezas especiales y accesorios a aprobación y homologación por parte de la persona prestadora del servicio público de acueducto, por lo menos 30 días antes de la instalación en la red de distribución.

Para obtener la aprobación y homologación por parte de la persona prestadora deben someterse todos los accesorios que conforman las acometidas domiciliarias a pruebas de caudal y de presión tanto estática como dinámica.

## 7.9.7 Macromedidores

Antes de instalar los macromedidores en la red de distribución de agua potable, ya sea aguas abajo de las plantas de tratamiento, aguas arriba de los tanques de compensación o en los puntos de entrada a sectores de la red bien definidos que pueden ser atendidos por empresas de prestación del servicio individuales, la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio debe garantizar el correcto funcionamiento de éstos. Los macromedidores deben ser probados en los talleres del prestador o, en caso que éstos no existan, en talleres de prestadores de municipios que cuenten con ellos o laboratorios acreditados según normas ISO, AWWA, DIN o ASTM.

En casos de macromedidores especiales, la persona prestadora del servicio público de acueducto en el municipio puede aceptar la calibración presentada por el fabricante, siempre y cuando éstos se encuentren homologados por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) o cualquier instituto internacional de homologación de reconocido prestigio.

## 7.9.8 Micromedidores

Las pruebas de los micromedidores deben llevarse a cabo en el taller de micromedidores de la persona prestadora del servicio público de acueducto en el municipio, cuando ésta exista, o en el taller de micromedidores de otro municipio en caso de que ésta no exista en el municipio en cuestión, de acuerdo con lo establecido en el literal B.7.7.9.1.

Las pruebas de los micromedidores deben llevarse a cabo con los caudales establecidos en la norma técnica NTC-1063/3. Con el caudal de sobrecarga no debe obtenerse una pérdida de altura piezométrica superior a los 98.1 kPa (10 m.c.a.).

Los micromedidores deben instalarse de tal forma que se garantice su fácil montaje y desmontaje, al igual que debe ser colocado sin obstáculos para su lectura.

## 7.10 Aspectos de la operación de redes de distribución

Para el caso de las redes de distribución, desde la etapa de diseño se deben establecer en un manual de operaciones los siguientes aspectos operativos con el fin de asegurar el correcto funcionamiento hidráulico para las diferentes condiciones de operación normal y/o de emergencia que puedan ocurrir a lo largo de la vida útil del proyecto.

### 7.10.1 Presiones en la red de distribución

Una vez que la red de distribución, o su ampliación, entre en operación y durante todo el periodo de vida útil del proyecto, deben verificarse las presiones en diferentes puntos de la red, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo deben medirse las presiones en puntos preseleccionados de la red una vez al mes en horas de caudales máximos y mínimos.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio, debe medirse la presión al menos una vez al mes en horas de caudales máximos y mínimos, en puntos preseleccionados.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto, debe realizarse una medición diaria en horas de caudales máximos y mínimos, por lo menos en cuatro puntos de medición distribuidos en la red de distribución; en este caso se recomienda que los puntos sean seleccionados haciendo uso del modelo hidráulico de la red de distribución de agua potable.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto debe medirse la presión diariamente en forma continua en un punto por lo menos por cada 50.000 habitantes, con un mínimo de 10 puntos de medición en la red. La selección de estos puntos se debe hacer utilizando el modelo hidráulico de la red de distribución de agua potable. Para todos estos puntos se recomienda el uso de telemetría.

Para todos los niveles de complejidad del sistema, los datos de presiones máximas y mínimas recolectados deben ser guardados en las bases de datos de la persona prestadora del servicio público de acueducto, para ser enviado, en caso que se solicite, a la SSPD.

Los puntos de verificación de presiones en la red, deben ser definidos desde la etapa de diseño, cumpliendo con lo establecido en este literal, y en especial con lo establecido en la Resolución 1096 del 2000 del Ministerio de

Desarrollo Económico en su Artículo 199 o la norma que la modifique, adicione o sustituya.

Los planes de medición de presiones establecidos en el diseño deben incluir los puntos y equipos de medición, la precisión de estos, la frecuencia de toma de datos y la forma como estos deben incluirse en la base de datos y, en caso de que exista, en el sistema de información geográfica del municipio o de la persona prestadora del servicio público de acueducto.

## 7.10.2 Fugas y pérdidas de agua en la red de distribución de agua potable

Para el nivel de complejidad del sistema alto, y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio alto, una vez que la red de distribución de agua potable entre en operación y durante todo el período de vida útil del proyecto, es necesario verificar las posibles fugas y las conexiones clandestinas en la red de distribución, con el fin de obtener un control del índice de agua no contabilizada. Para este nivel de complejidad del sistema es necesario que exista un programa permanente de detección de fugas y de conexiones clandestinas en zonas preestablecidas de la red. Los puntos deben ser definidos desde la etapa del diseño, al igual que las rutinas y el tipo de simulación hidráulica que debe realizarse con el fin de apoyar los programas de control de fugas mediante el uso de la modelación hidráulica. El diseño debe establecer igualmente la forma de calibración hidráulica de la red de distribución, con el fin de detectar, en el modelo matemático de la red y mediante rutinas que utilicen emisores en cada uno de los nodos de la red, aquellas zonas en las cuales haya concentración de fugas no detectables y/o conexiones clandestinas.

Para el nivel de complejidad del sistema alto, el diseño también debe recomendar el uso de medidas telemétricas de presiones y caudales en diferentes puntos de la red de distribución existente, que permitan detectar en tiempo real la posible ocurrencia de fugas en las diferentes zonas de la red de distribución. Es responsabilidad del consultor establecer la forma de uso de los programas de simulación hidráulica con este fin.

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto, medio y bajo se debe hacer un balance de aguas periódico, al menos una vez cada seis meses, haciendo uso de los macromedidores de caudal y de las lecturas de los micromedidores domiciliarios de cada uno de los suscriptores.

En caso que en alguno de los programas de medición, para todos los niveles de complejidad del sistema, indique la existencia de un índice de agua no contabilizada IANC superior al 25%, es obligatorio que la persona prestadora del servicio público de acueducto e implemente un programa de reducción de pérdidas de agua en su red de distribución.

## 7.10.3 Macromedición en la red de distribución

Una vez que la red de distribución se encuentre en operación, y durante todo el período de vida útil del proyecto, debe verificarse los caudales medidos por los macromedidores, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo debe realizarse una medición horaria durante 24 horas de caudal a la entrada y salida de tanques y a la entrada de la red de distribución al menos una vez cada tres meses.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio debe realizarse una medición horaria durante 24 horas de caudal a la entrada y salida de tanques de compensación y a la salida de la o las plantas de tratamiento de la red, al menos una vez cada dos meses.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto debe realizarse una medición horaria durante 24 horas de caudal a la entrada y salida de los tanques y a la salida de la o las plantas de tratamiento de la red cada mes.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto debe existir una medición permanente del caudal de entrada y salida de los tanques y de la salida de la o las plantas de tratamiento. Es obligatoria la lectura telemétrica de los macromedidores de tal forma que pueda conocerse los caudales producidos en tiempo real.

En todos los casos deben guardarse los registros de macromedición con el fin de ser enviados, en caso de ser requeridos, a la SSPD.

Para el nivel de complejidad del sistema alto, y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio alto, una vez que la nueva red de distribución o la ampliación a una red existente entre en operación, en conjunto con todos los macromedidores definidos en el literal B.7.7.9.2 de este Título, y a lo largo de todo el período de vida útil del proyecto, deben verificarse los caudales medidos por los macromedidores y compararlos con los arrojados por los modelos de simulación hidráulica de la red de distribución, con el fin de mantener actualizado y calibrado el modelo y asegurar el buen funcionamiento de los medidores.

El diseño de la macromedición debe establecer la frecuencia de medición de caudales, la precisión de la medida y la forma como estos datos deben transmitirse a la base de datos y al sistema de información geográfica que haya sido definido por la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio. También debe establecer la forma de introducir los datos dentro del programa de simulación hidráulica de la red de distribución, con el fin de mantener el modelo actualizado y poder tener un perfecto conocimiento de las

presiones y caudales en puntos de interés. El diseño también debe establecer aquellos puntos en los cuales es obligatoria la lectura telemétrica de datos de caudal o de presión, de tal forma que se garantice a la persona prestadora del servicio público de acueducto el estado hidráulico de la red y los balances de agua, producidos en tiempo real.

## 7.10.4 Micromedición

Durante todo el período de vida útil de la red de distribución deben realizarse muestreos en las acometidas domiciliarias con el fin de establecer el estado de los micromedidores. Deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo se recomienda tomar una muestra representativa de micromedidores al menos una vez al año.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio debe realizarse un muestreo representativo de los micromedidores domiciliarios al menos una vez al año.
3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto debe realizarse un muestreo representativo por lo menos una vez cada seis meses para establecer el estado de los micromedidores.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto se requiere mantener un programa permanente de muestreo representativo de micromedidores domiciliarios, teniendo en cuenta el tipo de micromedidor, la fecha de instalación y otros aspectos que se consideren relevantes.
5. Los medidores retirados deben cambiarse por uno nuevo y enviarse a los talleres de micromedidores o laboratorios acreditados, con el fin de verificar la exactitud de su medida como se establece en el literal B.7.7.9.1.
6. Durante el transporte debe asegurarse que los micromedidores se encuentren completamente sumergidos en agua o llenos de agua con tapones provisionales instalados a la entrada y salida del aparato para garantizar la estanqueidad, esto con el fin de evitar que la corrosión trabe las piñones.
7. En caso que los medidores estén por fuera del rango de precisión establecido en las normas técnicas correspondientes (Véase tabla B. 7.11) multiplicado por 2, debe cambiarse aquella parte de la población correspondiente a la muestra defectuosa por medidores nuevos. En caso de no ser posible efectuar el muestreo, los micromedidores deben reemplazarse cada 8 años.
8. De todas formas debe observarse lo establecido por la Ley 142 de 1994, la Ley 373 de 1997 y las disposiciones pertinentes de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico y de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).

Los medidores se deben reemplazar por lo menos cada 3000 m<sup>3</sup> de marcación según lo establecido en la Resolución 151 de 2001 de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico en su Artículo 2.1.1.4 “Reparación y mantenimiento de medidores”.

## 7.10.5 Hidrantes

Para el mantenimiento de los hidrantes debe tenerse en cuenta lo establecido en el Artículo 77 de la Ley 9 de 1979, o la norma que la adicione, modifique o sustituya. De acuerdo con este artículo, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, los hidrantes deben revisarse una vez cada año.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio, los hidrantes deben revisarse una vez cada seis meses.
3. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, los hidrantes deben revisarse una vez cada tres meses. La revisión de los hidrantes debe ser hecha por la persona prestadora del servicio público de acueducto.

Los planes de revisión deben ser consultados con el cuerpo de bomberos de la localidad, en caso que éste exista.

El diseño debe establecer los puntos muertos de la red y la localización de hidrantes, definiendo la forma de mantenimiento hidráulico de estos, y teniendo en cuenta la frecuencia con que deben revisarse, procediendo a la apertura de hidrantes y válvulas con el fin de preservar la calidad del agua en la red.

En el caso del nivel de complejidad del sistema alto, y haciendo uso del modelo de simulación hidráulica de la red de distribución de agua potable, se debe establecer un programa en el cual se diga la hora del día en la cual la apertura de hidrantes y la limpieza de zonas muertas es óptima para establecer simultáneamente el tiempo de duración de la apertura y el tiempo de lavado de esta zona de la red de distribución.

## 7.10.6 Válvulas

Una vez que la red de distribución se encuentre en operación y durante todo el período de vida útil del proyecto, debe realizarse una inspección preventiva de las válvulas, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Cuando la función de la válvula sea el seccionamiento o el aislamiento de parte de la red, la válvula debe operarse con una frecuencia mínima de seis meses.
2. Cuando la función de la válvula sea la de servir de tubería de paso directo (*by pass*) la frecuencia mínima de operación debe ser una vez cada tres meses.

3. Cuando la función de la válvula sea la de purga o drenaje de la red de distribución, la frecuencia de operación mínima debe ser de una vez al año.

El diseño debe establecer el programa de apertura y/o cierre de válvulas, el cual debe verificarse, para el caso del nivel de complejidad del sistema alto, mediante el uso del modelo hidráulico de la red de distribución, con el fin de entender el efecto hidráulico sobre la red, especialmente sobre las velocidades y sus cambios durante las operaciones de válvulas. El objetivo de esta modelación es conocer y hasta donde sea posible prevenir el desprendimiento de películas biológicas o depósitos inorgánicos que existan al interior de la red de distribución durante la operación de las válvulas.

## 7.10.7 Sectores y subsectores de la red de distribución

Siempre que se construya una nueva red de distribución o una ampliación a una red existente, pueden existir efectos hidráulicos sobre la operación hidráulica de otras zonas de la red de distribución de agua potable del municipio. Por consiguiente, y para facilitar la operación global del sistema de distribución de agua potable, el diseño debe establecer y la persona prestadora de servicios públicos debe implementar cambios en los sectores o subsectores de la red de distribución, con el fin de lograr una mejor uniformidad de presiones y una sectorización basada en criterios hidráulicos. Para lograr esto, el diseño debe establecer y la persona prestadora del servicio público de acueducto debe implementar, cuando sea necesario, una nueva distribución de válvulas y la apertura y/o cierre de algunas válvulas existentes, con el fin de cambiar la topología de la red de distribución de agua potable.

Para el nivel de complejidad del sistema alto, y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio alto, el diseño de una nueva sectorización de la red de distribución de agua potable debe basarse en el uso del modelo hidráulico de la red de distribución. Mediante el modelo, se debe establecer la nueva distribución de válvulas, el estado de apertura o cierre de las válvulas nuevas o las válvulas existentes, con el fin de optimizar la uniformidad de la presión en cada uno de los sectores o subsectores.

## 7.10.8 Calibración de la red de distribución

Muchos de los aspectos de la operación hidráulica de redes de distribución complejas, tal como las encontradas en los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, requieren el uso de un modelo hidráulico de la red previamente calibrado. Esto es igualmente cierto para las redes nuevas como para las redes existentes, aun cuando estas últimas no hayan sido objeto de una

ampliación. Por consiguiente, el consultor de una red nueva o de la ampliación de una red existente debe establecer la forma de calibrar la red una vez que ésta entre en operación. La calibración del modelo de la red de distribución debe realizarse siempre que en la red existente o nueva exista al menos una tubería con un diámetro nominal superior o igual a 250 mm.

### 7.10.8.1 Variables hidráulicas en el proceso de calibración

Las variables hidráulicas dentro de un proceso de calibración de redes de distribución de agua potable se clasifican en variables hidráulicas que deben ser conocidas por el consultor o medidas en campo y variables hidráulicas calculadas por el proceso de calibración. Las variables conocidas deben ser las siguientes:

1. Catastro de tuberías en el que se tenga información sobre materiales de las tuberías, fecha aproximada de instalación, diámetro nominal, longitudes, etc.
2. Catastro de válvulas, estaciones reguladoras de presión, tanques de almacenamiento, tanques de compensación y accesorios especiales que formen parte de la red.
3. Coeficientes de pérdidas menores de cada una de los accesorios especiales que formen parte de la red de distribución.
4. Topología y topografía completa de la red, de tal forma que se puedan calcular las cotas de cada uno de sus nodos, así como niveles de agua en los tanques de almacenamiento y/o compensación.

Las variables que deben ser medidas en campo son:

1. Caudales en diferentes tuberías de la red y en diferentes instantes del tiempo, con el fin de incluir los caudales representativos de la curva de consumo de agua a lo largo del día, y en diferentes días de la semana. En particular se debe medir el caudal total a la entrada al circuito o subcircuito objeto de la calibración.
2. Presiones en diferentes nodos de la red y en diferentes instantes del tiempo, con el fin de incluir los caudales representativos de la curva de consumo de agua a lo largo del día, y en diferentes días de la semana. En particular se debe medir la presión de entrada al circuito o subcircuito objeto de la calibración.
3. Parámetros de calidad de agua tales como cloro residual, turbiedad y otros, en diferentes puntos de la red y en diferentes instantes del tiempo, con el fin de incluir los caudales representativos de la curva de consumo de agua a lo largo del día, y en diferentes días de la semana.

Las variables hidráulicas objeto del proceso de calibración de la red de acueducto son:

1. Diámetro real interno de cada una de las tuberías, el cual es diferente al diámetro nominal original de éstas.
2. Rugosidad absoluta de las tuberías ( $k_s$ ) para cada una de las tuberías.
3. Coeficiente global de pérdidas menores para cada una de las tuberías ( $\sum km$ ).

### 7.10.8.2 Instrumentación de la red para calibración

El proceso de calibración de una red de distribución debe estar precedido por el diseño de las mediciones de campo y el tipo de instrumentos que deben ser utilizados. Este diseño debe estar basado en una modelación hidráulica preliminar de la red, la cual se realiza utilizando valores teóricos de las rugosidades absolutas, los coeficientes de pérdidas menores y los diámetros reales internos establecidos en el catastro de redes a partir de los diámetros nominales. El consultor debe establecer los puntos de medición de caudales, de presiones y de calidad de agua, así como el tipo de aparatos de medición. En particular debe establecer el rango y precisión de medición de cada variable así como la frecuencia de medición, en el caso de análisis de flujo no permanente.

Como una guía, la tabla B. 7.12, muestra los criterios de calibración para la modelación hidráulica de redes de distribución de agua potable. Lo establecido en esta tabla debe seguirse, a no ser que la persona prestadora del servicio público de acueducto en el municipio tenga sus propios criterios de calibración de sus modelos hidráulicos.

Tabla B. 7.12 Criterios de calibración para modelación<sup>1</sup>

Uso previsto del modelo	Nivel de detalle del modelo	Tipo de Simulación	Número de lecturas de presión	Precisión de las lecturas de presión	Número de lecturas de caudal	Precisión de las lecturas de caudal
Planeación de largo plazo	Bajo	Estado estable o Período extendido	10% de los Nodos	$\pm 34.5 \text{ kPa}$ en el 100% de las lecturas	1 % de las tuberías	$\pm 10\%$
Diseño	Moderno a alto	Estado estable o Período extendido	5 % - 2% de los nodos	$\pm 13.8 \text{ kPa}$ en el 90% de las lecturas	3% de las tuberías	$\pm 5\%$
Operación	Bajo a alto	Estado estable o período extendido	10 % - 2% de los nodos	$\pm 13.8 \text{ kPa}$ en el 90% de las lecturas	2% de las tuberías	$\pm 5\%$
Calidad del agua	Alto	Período Extendido	2% de los nodos	$\pm 20.7 \text{ kPa}$ para el 70% de las lecturas	5% de las tuberías	$\pm 2\%$

Basado en: ECAC. "Calibration Guidelines for Water Distribution System Modeling.". Proceedings, AWWA ImTech Conference, New Orleans, LA. April 18 – 21, 1999.

### 7.10.8.3 Procedimiento de calibración

Una vez realizado el proceso de medición de campo, se debe montar toda la información en el modelo hidráulico matemático de la red, el cual debe permitir modificar las variables de calibración, de tal forma que el modelo reproduzca lo medido en campo. Las variables de calibración son la rugosidad absoluta, el coeficiente de pérdidas menores y el diámetro real interno actual de cada tubería. Se recomienda que el programa utilizado tenga la posibilidad de creación de grupos de tuberías con características similares y que haga uso de técnicas de optimización o de inteligencia artificial con el fin de obtener los valores calibrados.

El criterio de convergencia del proceso es qué tan bien el modelo reproduce las presiones en los nodos medidas en campo, a lo largo de todo el período de medición, para los caudales de entrada y consumo medidos. Es decir, se debe hacer una comparación entre las curvas de presión medidas en campo con las curvas de presión producidas por el modelo. Es responsabilidad del consultor establecer dicho criterio de convergencia. El período de mediciones debe ser de al menos 15 días, y la frecuencia de mediciones debe ser de al menos una vez cada 5 minutos.

### 7.10.8.4 Uso de tecnologías de información en el proceso de calibración

Para el nivel de complejidad del sistema alto, y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio alto, además de lo establecido en el literal B.7.5.2 de este Título, referente a las características numéricas del modelo hidráulico, sus ecuaciones, sus capacidades de simulación en período extendido y de simulación de la calidad de agua y sus capacidades de comunicación con los demás sistemas adoptados por la persona prestadora del servicio público de acueducto, en particular las bases de datos y el sistema de información geográfica, el programa debe contar con unidades de calibración mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial, tales como algoritmos genéticos, lógica difusa o sistemas expertos o mediante cualquier otro tipo de metodología de optimización hidráulica, tal como el método de Montecarlo.

## 7.10.9 Control de presiones en la red de distribución

El diseño y la operación de una red de distribución nueva o la ampliación de una red de distribución existente debe contemplar que bajo diferentes condiciones de operación posible para un sector determinado de la red, las presiones siempre se encuentren dentro de los rangos establecidos en los

literales anteriores de este Título. Para el nivel de complejidad del sistema alto, cada una de las condiciones extremas de operación debe simularse previamente en el programa de cálculo hidráulico de la red de distribución de agua potable.

### 7.10.10 Reglas de operación para evitar desprendimientos de biopelículas y/o resuspensión de depósitos inorgánicos

Una vez establecido el diseño definitivo de una red de distribución nueva o la ampliación a una red de distribución existente, el consultor y/o la persona prestadora del servicio deben establecer reglas de operación que eviten el desprendimiento de películas biológicas y/o depósitos de material inorgánico al interior de las tuberías, causados por aumentos excesivos de velocidad en algunos tramos de la red, la inversión de la dirección de flujo en tramos de la red, o combinación de estos dos. Para el caso del nivel de complejidad del sistema alto, se debe hacer uso del modelo matemático de la red de distribución de agua potable según lo establecido en el literal B.7.5.2 de este Título.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.10.6 de este Título.

### 7.10.11 Lavado de tuberías de la red de distribución

Con respecto al lavado de las tuberías de la red de distribución se debe tener en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.10.7 de este Título.

### 7.10.12 Calidad de agua en la red de distribución

Una vez que la red de distribución se encuentre en operación y durante todo el período de vida útil de ésta, debe verificarse la calidad del agua en la red, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para todos los niveles de complejidad del sistema, en la vigilancia y control de la calidad del agua en la red de distribución se debe como mínimo seguir lo establecido en el Decreto 1575 de 2007 y en las Resoluciones reglamentarias 2115 de 2007 y 811 de 2008 o las normas que las modifiquen, adicionen o sustituyan.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio debe realizarse un muestreo semanal en puntos preestablecidos de la red. El agua debe ser tomada teniendo en cuenta todas las precauciones para evitar su contaminación desde el momento en que se toma la

muestra y el momento en que se analiza en laboratorio. En caso que en el municipio no exista laboratorio, las pruebas de calidad de agua podrán realizarse en laboratorios de empresas de servicio de acueducto de otros municipios que cuenten con laboratorios debidamente autorizados por el Ministerio de la Protección Social. En todos los casos debe cumplirse lo establecido por el Decreto 1575 de 2007 de los ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

3. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto debe realizarse un muestreo de la calidad del agua al menos una vez al día en puntos preestablecidos. La persona prestadora del servicio público de acueducto debe contar con el apoyo de un laboratorio de calidad de agua, debidamente autorizado por el Ministerio de la Protección Social. El laboratorio de calidad de agua no debe pertenecer, necesariamente, a la persona prestadora del servicio público de acueducto.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto debe realizarse un muestreo diario en puntos preestablecidos de la red. Las muestras de agua deben ser analizadas en un laboratorio de calidad de agua, debidamente autorizado por el Ministerio de la Protección Social. Para este nivel de prestación de servicio se recomienda la instalación de medidas telemétricas de calidad de agua en la red, con el fin de conocer en tiempo real la calidad de agua en todo el sistema de acueducto del municipio.

En los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, para control de la calidad de agua debe existir un programa permanente dirigido a realizar las correcciones necesarias para eliminar las conexiones erradas al sistema de distribución de agua potable.

Adicionalmente, para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, es obligatorio que los puntos del muestreo para determinar la calidad del agua sean seleccionados de acuerdo con simulaciones en el modelo hidráulico, dando prioridad a los puntos con mayor edad media y niveles de cloro residual más bajos. Lo anterior se recomienda para el nivel de complejidad del sistema medio. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, se recomienda que los puntos de muestreo de calidad de agua sean aquellos más alejados de la planta de tratamiento.

### 7.10.13 Uso de programas de simulación de redes para la operación

Para el nivel de complejidad del sistema alto y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio alto, el modelo utilizado por el consultor de una red de distribución nueva o la ampliación de una red de

distribución existente en el programa de simulación matemática definido en el literal B.7.5.2, debe entregarse a la persona prestadora del servicio público de acueducto con el fin de que posteriormente dicho modelo sea utilizado como herramienta operativa durante todo el período de vida útil del proyecto. Es responsabilidad del consultor asegurar que el modelo hidráulico de la nueva red de distribución o la ampliación de una red existente quede funcionando correctamente en los programas de simulación hidráulica operados por la persona prestadora, dando prioridad a aquellos casos de empresas regionales. El uso del modelo hidráulico como herramienta operativa debe incluir, entre otros, los siguientes aspectos:

1. Operación normal de la red de distribución bajo diferentes regímenes de caudales y presiones.
2. Operaciones de emergencia en la red de distribución.
3. Mantenimientos, tanto preventivos como correctivos en la red de distribución.
4. Control de calidad de agua en la red de distribución.
5. Control del índice de agua no contabilizada.

Es responsabilidad de la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio el mantener y calibrar permanentemente el modelo hidráulico de las redes de distribución de agua potable.

### 7.10.14 Uso de tecnologías de información para la operación de las redes

Con respecto al uso de tecnologías de información para la operación de las redes de distribución se debe seguir lo establecido en el literal B.6.10.9 de este Título.

### 7.10.15 Inventario de repuestos

La persona prestadora del servicio público domiciliario de acueducto del municipio debe contar con un inventario de repuestos y accesorios para la colocación y empalme de tuberías con materiales diferentes que formen parte de las redes de distribución de agua potable existentes.

## 7.11 Aspectos del mantenimiento de redes de distribución

Para el mantenimiento de las redes de distribución, el diseño debe tener en cuenta los aspectos mostrados en los literales B.7.11.1 a B.7.11.11. En general,

todo municipio de los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto debe establecer un sistema de gestión de calidad, que garantice la aplicación de todo lo establecido en este documento, incluyendo los aspectos de mantenimiento. Para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo o para aquellos municipios de los otros niveles de complejidad del sistema que no cuenten con su sistema de gestión de calidad, se deben tener en cuenta los aspectos de mantenimiento mostrados en los siguientes literales.

### 7.11.1 Manual de mantenimiento

El manual de mantenimiento de las redes de distribución debe incluir un programa rutinario de labores de inspección, mantenimiento y reparación, determinando una serie de actividades diarias, semanales, mensuales y anuales. Las rutinas de mantenimiento deben permitir el normal funcionamiento de las redes sin interrupciones del servicio.

Para todos los niveles de complejidad del sistema, la persona prestadora del servicio público de acueducto debe elaborar y mantener actualizado el manual de mantenimiento de las redes de distribución en el que se debe incluir como mínimo lo establecido en los siguientes literales.

### 7.11.2 Suspensión del servicio por mantenimiento programado

En el caso que las labores de un mantenimiento programado impliquen la suspensión del servicio de abastecimiento de agua potable, la persona prestadora del servicio público de acueducto en el municipio debe informar oportunamente a la comunidad sobre los horarios y cortes programados en el suministro de agua. Para el nivel de complejidad del sistema alto, el diseño debe establecer, haciendo uso del modelo hidráulico de la red de distribución, aquellos suscriptores que van a ser afectados por la suspensión del servicio de acueducto o que van a experimentar bajas temporales en la presión del suministro de agua potable.

### 7.11.3 Reparación de Tuberías y Accesorios

En caso que haya que cambiar o reparar alguna de las tuberías o accesorios que forman parte de la red de distribución, estos trabajos deben realizarse en un tiempo mínimo, dentro de los límites recomendados en la tabla B. 7.13, más allá de los cuales deberá ponerse en marcha un plan de emergencia con el fin de minimizar los efectos de racionamiento. Se debe registrar el sitio y la magnitud del daño ocurrido.

Tabla B. 7.13 Tiempo límite para reparaciones

Nivel de Complejidad del Sistema	Tiempo límite de reparación antes de establecer un plan de emergencia
Bajo	48 horas
Medio	36 horas
Medio Alto	24 horas
Alto	12 horas

## 7.11.4 Renovación o Rehabilitación

El programa de operación de la red de distribución de agua potable, una vez que identifique la necesidad de renovar o rehabilitar algunas de las tuberías de la red de distribución, debe incluir el análisis de las tecnologías sin zanja para llevar a cabo la rehabilitación de las redes de distribución. Dentro de las tecnologías sin zanja que deben ser consideradas se deben incluir, entre otras, las siguientes:

1. Estallido o rotura de las tuberías (*Pipe Bursting*).
2. Tuberías curadas in situ (*Cure in Place Pipe, CIPP*).
3. Recubrimientos internos de la tubería (*Sliplining*).

## 7.11.5 Reparación de micromedidores

En caso que sea necesario cambiar o reparar uno de los micromedidores que conformen la red de distribución, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio debe cambiarse o repararse el micromedidor en un máximo de dos semanas después de detectado el daño.
2. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto debe cambiarse o repararse el micromedidor en un máximo de una semana después de detectado el daño.

Con respecto a los medidores individuales, debe tenerse en cuenta todo lo establecido por el artículo 144 de la Ley 142 de 1994, o la norma que la modifique, adicione o sustituya. También debe tenerse en cuenta lo establecido por el Artículo 145 de la Ley mencionada con respecto al control sobre el funcionamiento de los medidores.

## 7.11.6 Mantenimiento de macromedidores

Con respecto al mantenimiento de los macromedidores que formen parte de la red de distribución de agua potable, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, los macromedidores deben cambiarse o repararse en un plazo máximo de dos semanas después de detectado el daño, manteniendo la continuidad del servicio.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio debe cambiarse o repararse el macromedidor en un plazo máximo de una semana, manteniendo la continuidad del servicio
3. Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, debe cambiarse o repararse el macromedidor en un máximo de 4 días, manteniendo la continuidad del servicio.

## 7.11.7 Disponibilidad de repuestos

Para el nivel de complejidad del sistema alto, en caso que se requieran repuestos para las labores de mantenimiento de las estructuras, tuberías y/o accesorios que formen parte de las redes de distribución de agua potable, debe tenerse en cuenta que la consecución y localización *in situ* de los repuestos debe ser inmediata para aquellos casos que implique la suspensión del servicio, ya sea por mantenimiento preventivo o por situaciones de emergencia. Para los repuestos que no impliquen suspensión del servicio, la consecución y localización *in situ* de estos debe realizarse como máximo en un día. Para los demás niveles de complejidad del sistema la localización *in situ* de los repuestos debe realizarse como máximo en 48 horas.

## 7.11.8 Lavado de las redes de distribución

Las operaciones de lavado de las redes que conforman el sistema de distribución de agua potable deben quedar establecidas desde el diseño o deben ser diseñadas por la persona prestadora del servicio público de acueducto. Para el caso del nivel de complejidad del sistema alto, las operaciones de lavado deben ser probadas mediante el uso del modelo hidráulico de la red de distribución definido en el literal B.7.5.2 de este documento. Los parámetros básicos relacionados con la frecuencia de limpieza del sistema de distribución de agua potable son los siguientes:

1. Para el nivel de complejidad del sistema alto, y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio alto, dos veces al año para zonas que tengan tuberías de hierro fundido o acero donde estén desalineadas, cuando haya tubérculos en grandes cantidades, o cuando haya quejas frecuentes de olor, color y sabor por parte de los suscriptores. Para los demás niveles de complejidad del sistema se recomienda hacer este lavado al menos una vez al año.

2. Dos veces por año en sistemas de válvulas de división, hidrantes y tuberías de baja velocidad.
3. Es necesario realizar un lavado periódico, el cual debe ser establecido por la persona prestadora del servicio público de acueducto y no debe ser superior a dos meses, en áreas donde los problemas de calidad de agua son crónicos, particularmente en aquellas zonas de la red de distribución en las cuales existan tuberías donde las velocidades del flujo son bajas.

La limpieza de las redes de distribución debe realizarse mediante el uso de materiales absorbentes y abrasivos, además del empleo de desinfectantes. La frecuencia de lavado debe ser aquella necesaria para mantener un cloro residual en niveles apropiados, aún en las zonas muertas de la red de distribución. En todos los casos, el lavado preferiblemente debe realizarse durante las horas de la noche y en las madrugadas, entre las 11 p.m. y las 5 a.m. con el fin de minimizar los efectos sobre los suscriptores y aprovechar las altas presiones debidas a la baja demanda de agua en horas nocturnas. Estas altas presiones permiten obtener altas velocidades en las tuberías durante las operaciones de lavado, con el fin de hacer más eficiente los procesos de desprendimiento de películas biológicas y/o depósitos inorgánicos al interior de las tuberías.

Es importante tener en cuenta que el lavado con flujo a presión no es efectivo en tuberías de más de 300 mm de diámetro puesto que alcanzar las velocidades necesarias para el lavado es difícil, a no ser que se cuente con estructuras especiales de lavado localizadas sobre estas tuberías principales.

En aquellos casos en que se detecte la existencia de incrustaciones en tuberías metálicas, se deben incluir en las operaciones de lavado el dragado mecánico con el fin de remover dichas incrustaciones.

## 7.11.9 Reglas de operación durante mantenimientos para evitar desprendimientos de biopelículas

Para el nivel de complejidad del sistema alto, y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio alto, el diseño debe establecer reglas de operación durante mantenimientos, con el fin de evitar el deterioro en la calidad del agua causado por desprendimientos de películas biológicas y/o depósitos inorgánicos al interior de las tuberías, para lo cual se debe hacer uso del modelo hidráulico calibrado de la red de distribución, y tener en cuenta lo establecido en el literal B.7.5.2 de este Título.

En particular, se debe seguir las siguientes recomendaciones para los mantenimientos en la red:

1. No cambiar de manera drástica la velocidad en ninguna de las tuberías de la red de distribución.

2. Evitar aquellas operaciones de mantenimiento que impliquen el duplicar la velocidad en algunas de las tuberías de la red, o reversar la dirección del flujo.
3. Tratar de evitar el cambio en la dirección de flujo en las tuberías, debido a que el riesgo de desprendimiento de biopelículas y/o depósitos inorgánicos aumenta.
4. Las operaciones de mantenimiento deben evitar la perturbación de biopelículas y/o depósitos inorgánicos, a menos que se trate de una operación de lavado interno de la red.

### 7.11.10 Uso de los programas de simulación hidráulica para el mantenimiento de la red de distribución

Para el nivel de complejidad del sistema alto, y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio alto, todas las operaciones de mantenimiento de la red de distribución deben estar basadas en el modelo matemático utilizado durante la etapa de diseño o el que haya sido implementado por la persona prestadora del servicio para redes existentes. Por consiguiente, en caso de redes de distribución nuevas o ampliación a redes existentes, el consultor debe entregar el modelo de la red de distribución a la persona prestadora del servicio público de acueducto con el fin que éste sea utilizado por la persona prestadora del servicio público de acueducto como una herramienta para planificar operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo. Es obligación del consultor, en este caso, verificar que el modelo hidráulico quede correctamente montado dentro de los programas de simulación hidráulica que utiliza la persona prestadora del servicio público de acueducto.

### 7.11.11 Uso de tecnologías de información para labores de mantenimiento

Con respecto al uso de las tecnologías de información para el mantenimiento preventivo y predictivo de las redes de distribución de agua potable se debe seguir todo lo establecido en el literal B.6.11.12 de este Título.

# TÍTULO B

## ESTACIONES DE BOMBEO

# 8. ESTACIONES DE BOMBEO

Se considera necesario el desarrollo de una estación de bombeo cuando se requiera elevar el nivel de la línea piezométrica para vencer una diferencia de altura topográfica, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores siempre que las alternativas de ampliación de estaciones existentes y el aprovechamiento de la gravedad no resulten factibles.

## 8.1 Alcance

En este capítulo se establecen los criterios básicos y requisitos mínimos que deben cumplir las estaciones de bombeo en las etapas de su desarrollo, tales como la conceptualización, la planificación, el diseño, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento, con el fin de garantizar seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia en las estaciones de bombeo dentro de un nivel de complejidad del sistema determinado.

Las prescripciones establecidas en el presente capítulo deben aplicarse a los cuatro niveles de complejidad del sistema a menos que se especifique lo contrario.

## 8.2 Estudios previos

El consultor debe efectuar ciertos estudios antes de llevar a cabo el diseño de la estación, con el fin de determinar las condiciones básicas de operación, fijar la capacidad y establecer el régimen de funcionamiento hidráulico y eléctrico que asegure una operación económica del sistema.

### 8.2.1 Concepción del proyecto

La implantación de una estación de bombeo debe justificarse desde los puntos de vista técnico y económico, por medio de un estudio de la energía requerida por el sistema de acueducto en el período de análisis y las fuentes de energía disponibles.

La conceptualización y planificación del proyecto debe desarrollar, como mínimo, los siguientes aspectos:

1. Relación con las demás partes del sistema. Debe conocerse el funcionamiento y reglas de operación de los otros componentes del sistema de abastecimiento de agua, tales como plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento y/o compensación, zonificación de la demanda, redes de distribución entre otros, con el fin de lograr compatibilidad de la estación con el resto del sistema, especialmente en su capacidad y operación.

2. Inventario de las estaciones de bombeo existentes, con el fin de determinar el aprovechamiento hidráulico y estructural de instalaciones antiguas y su factibilidad de ampliación.
3. Altura dinámica total requerida por el flujo.
4. La capacidad hidráulica requerida de la estación de bombeo.
5. La energía eléctrica disponible en el sitio de la estación de bombeo.
6. La energía eléctrica requerida por el sistema de bombeo.
7. Consideraciones urbanísticas y adquisición de predios.
8. Localización estratégica para minimizar la vulnerabilidad ante sismos, inundaciones y vandalismo.
9. Afectación del medio ambiente por el proyecto.

## 8.2.2 Aspectos generales de la zona

El consultor debe conocer todos los aspectos generales de la zona del municipio en la que se desarrollará la estación de bombeo. Como mínimo el consultor de la estación de bombeo debe conocer la siguiente información referente a los aspectos generales de la zona:

1. El uso del suelo y la distribución urbanística de la zona cercana a la estación de bombeo.
2. Los proyectos de infraestructura existente y por construir como edificaciones cercanas, vías, redes de acueducto y otras redes de servicios públicos.
3. Consultar sobre posibles megaproyectos con el municipio, planeación y diferentes empresas de servicios públicos.
4. Regímenes de propiedad de los terrenos donde se proyecta la estación de bombeo; si son propiedad privada, del Estado, Departamento o el Municipio.
5. Sistema de drenaje natural en la zona, cauces, quebradas, etc.
6. El levantamiento topográfico planimétrico de la zona del municipio objeto del diseño.
7. El perímetro urbano del municipio.

## 8.2.3 Cantidad de agua a ser bombeada

Para el diseño de la estación de bombeo se debe conocer el estudio de la demanda de agua para la zona del municipio objeto del diseño de la estación de bombeo. En caso que no se disponga de esta información, se debe realizar el estudio teniendo en cuenta lo establecido en el capítulo B.2 de este Título, para determinar la capacidad actual y futura de la estación de acuerdo con la red de distribución aguas abajo.

## 8.2.4 Calidad del agua a ser bombeada

El diseño debe incluir un estudio de la calidad del agua que va a ser bombeada, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, con el fin de evaluar la vulnerabilidad de las bombas y de los accesorios que entran en contacto con el agua. Se debe poner especial cuidado en el caso de bombeo de agua cruda en las aducciones.

Antes de proceder al desarrollo del diseño de una estación de bombeo, el consultor debe conocer las características de calidad del agua y su evolución desde las plantas de tratamiento hasta su llegada a los tanques de succión, almacenamiento y/o compensación, localizados aguas arriba de las bombas. Debe utilizarse de la información sobre calidad de agua que exista en las personas prestadoras del servicio, y en caso que se considere necesario o no exista esta información, el consultor debe hacer uso de un programa de modelación de calidad de agua en la red, como se indica en el literal B.6.5.5, partiendo de la calidad de agua entregada a la salida de las plantas.

## 8.2.5 Estudios topográficos

Para propósitos de diseño, el consultor debe recopilar o realizar entre otra, la siguiente información topográfica:

1. Realizar el levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico de la zona del municipio objeto del diseño o de sus áreas de expansión. Las curvas de nivel deben ser por lo menos cada metro y la línea de impulsión se debe destacar como mínimo cada 20 m.
2. Planos de catastro o inventario de las redes que tengan relación con la estación de bombeo objeto del diseño.
3. Planos de catastro de todas las obras de infraestructura existente de la zona del municipio donde se va a proyectar la estación de bombeo.
4. Fotografías aéreas existentes para la zona del municipio objeto del diseño, que incluyan claramente la zona donde va a ubicarse la estación de bombeo.
5. Planos aerofotogramétricos de la zona del municipio donde va a ubicarse la estación de bombeo (Nivel de complejidad del sistema alto).

Los planos deben realizarse a una escala de 1:200. En todos los casos se deben hacer levantamientos reales en campo, con propósitos de verificación.

## 8.2.6 Estudio de suelos

Deben conocerse las propiedades del suelo en el sitio de la estación, por medio de un estudio de suelos característico del desarrollo de obras civiles.

Además, se debe seguir lo establecido en el capítulo G.2 “Aspectos geotécnicos” del Título G del RAS: “Aspectos complementarios”. También se debe considerar la participación de un especialista en geotecnia que indique los estudios adicionales que se deben realizar para el diseño de la estación de bombeo.

## 8.2.7 Condiciones geológicas

El consultor debe conocer todas las condiciones geológicas y las características del subsuelo en las zonas donde se proyectará la estación de bombeo. Mediante el uso de planos geológicos, deben identificarse las zonas de falla, de deslizamiento, de inundación y en general todas las zonas que presenten algún problema causado por aspectos geológicos, a partir de los planos de microzonificación sísmica existentes. Se deben evitar alternativas de diseño en zonas claramente identificadas como zonas de deslizamiento.

El consultor debe conocer específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona donde se proyectará la estación. En particular debe tenerse en cuenta lo establecido en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, o aquella que las modifiquen, adicionen o sustituyan, con respecto a los niveles de amenaza sísmica en todo el territorio nacional.

## 8.2.8 Infraestructura existente

Para el proceso de diseño deben identificarse las principales obras de infraestructura construidas y proyectadas dentro de la zona de influencia de la estación de bombeo que se va a desarrollar, tales como urbanizaciones y edificaciones cercanas, vías, sistemas de acueducto y de alcantarillado, y redes de otros servicios públicos, tales como energía, gas, teléfonos, etc.

## 8.2.9 Disponibilidad de energía

El diseño debe estudiar las condiciones de suministro de energía eléctrica, incluyendo la capacidad de la red de energía eléctrica en la zona en donde se construirá la estación de bombeo, la demanda de energía de la estación de bombeo, la frecuencia de interrupciones en el servicio de energía, el sitio más cercano para tomar la energía, el voltaje disponible, el ciclaje y el costo del kilovatio hora.

Además, debe analizarse la posibilidad de utilizar varios tipos de energía incluidos energía eléctrica, gas, diesel, entre otros. El diseño debe incluir el estudio del posible uso de una generación propia de energía eléctrica de la estación de bombeo siempre y cuando ésta resulte como la alternativa más económica. En el nivel de complejidad del sistema alto el diseño debe incluir una planta generadora alternativa con disposición permanente para el caso de emergencias.

## 8.3 Condiciones generales

La estación de bombeo debe cumplir con ciertas características y condiciones básicas, las cuales se indican a continuación.

### 8.3.1 Localización y seguridad

El diseño de la estación de bombeo debe asegurar que ésta se ubique en un sitio estable con respecto a fenómenos erosivos, fenómenos de deslizamientos o fallas de taludes, y en general fenómenos de movimiento de suelos causados por fallas geológicas. También se debe asegurar que la estación de bombeo no se vea afectada por la calidad del agua que circula por ella.

Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Durante la operación normal de la estación de bombeo no deben presentarse inundaciones, para lo cual la edificación debe contar con los drenajes adecuados. En el caso en que exista un pozo de succión, éste debe incluir un nivel de protección contra excesos de caudal provenientes de la red de conducciones, causados por fallas en los sistemas de control, y eventualmente por fallas en la evacuación del caudal.
2. En el caso que la estación de bombeo cuente con una subestación eléctrica, el diseño debe incluir un pararrayos con las conexiones adecuadas a tierra con el fin de proteger los equipos contra la posibilidad de caídas de rayos.
3. El diseño de la estación de bombeo debe incluir los dispositivos necesarios para extinguir incendios, los cuales deben estar perfectamente señalizados y ubicados en los lugares adecuados.
4. El diseño debe tener en cuenta todas las medidas de seguridad necesarias para evitar el acceso de personas extrañas, diferentes a aquellas encargadas de la operación y mantenimiento, mediante los cerramientos apropiados.
5. Con el fin de prevenir eventos de contaminación de las aguas de bombeo, el diseño debe tener en cuenta que la estación de bombeo debe quedar localizada en sitios alejados de cualquier posible fuente de contaminación, especialmente en zonas en las cuales la estación se encuentre por debajo del nivel freático.

### 8.3.2 Facilidad de acceso para el mantenimiento

En la estación de bombeo, el diseño debe dejar los accesos necesarios para efectuar las labores de mantenimiento; en particular el diseño debe tener en cuenta todos aquellos aspectos necesarios para la movilización de los equipos electromecánicos tales como puertas de acceso, rampas, puente grúas, etc. Por

otro lado, el diseño de la estación de bombeo debe propender porque las labores de mantenimiento de la estación de bombeo no afecten la prestación del servicio del sistema de acueducto.

### 8.3.3 Vulnerabilidad y riesgo

Con propósitos de diseño de estaciones de bombeo, es necesario conocer el nivel de amenaza sísmica de la zona en la cual se construirá la estación. Se debe tener en cuenta todo lo establecido en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente con respecto a los niveles de amenaza sísmica en las diferentes zonas del territorio nacional.

Las estaciones de bombeo son vulnerables a la deformación del suelo causada por problemas geotécnicos, geológicos y/o topográficos. El diseño debe establecer el nivel de vulnerabilidad. En caso que por razones geológicas, topográficas, sísmicas o cualquier otro tipo de factor se considere que la estación de bombeo tiene una alta vulnerabilidad, el diseño debe tener en cuenta que ésta sea fácil y rápida de reparar en caso de daños.

Con el fin de disminuir la vulnerabilidad frente a fenómenos sísmicos, los materiales de tuberías y de sus accesorios, deben estar diseñados para soportar los esfuerzos de tensión y corte generados por el sismo de diseño.

### 8.3.4 Análisis de costo mínimo

En todos los niveles de complejidad del sistema, el diseño debe incluir un procedimiento de optimización económica. La estación debe tener el menor costo posible de operación y las bombas deben operar con una eficiencia cercana a la máxima posible. Dentro de los análisis de menor costo debe tenerse en cuenta el costo inicial de los equipos y la construcción por etapas, los costos de operación y mantenimiento en el periodo de análisis y los costos de financiación.

#### 8.3.4.1 Disposiciones para reducir el costo inicial

1. Las bombas deben ser preferiblemente del mismo tipo, capacidad y tamaño.
2. Las bombas deben operar con la máxima eficiencia posible.

#### 8.3.4.2 Disposiciones para reducir los costos de operación

1. Siempre debe bombearse a un tanque de almacenamiento o compensación.
2. Las bombas deben operar con la máxima eficiencia posible.
3. Debe formularse un plan de ahorro de energía.

### 8.3.4.3 Disposiciones para reducir los costos de mantenimiento

1. Debe utilizarse el menor número posible de bombas.
2. Las bombas deben ser preferiblemente del mismo tipo de otras instalaciones existentes.
3. Debe utilizarse un alternador de uso de las bombas para lograr un desgaste parejo de estas.

### 8.3.5 Factibilidad de ampliación

Deben considerarse las facilidades técnicas para una posible ampliación futura. Deben definirse las etapas de expansión, indicando en cada una el número de bombas, el tipo de bombas y la capacidad estimada de la estación. Además, debe disponerse del espacio suficiente para la colocación futura de bombas y/o ampliaciones de la casa de máquinas. En todos los niveles de complejidad del sistema debe evaluarse la factibilidad de ampliación del sistema y su optimización económica.

En los niveles de complejidad del sistema medio, medio alto y alto, debe realizarse un análisis de costo mínimo de expansión de capacidad, según lo establecido en el capítulo A.8 "Evaluación Socioeconómica" del Título A del RAS: Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico."

## 8.4 Parámetros de diseño

### 8.4.1 Período de diseño

El período de diseño depende del nivel de complejidad del sistema, según lo establecido en la tabla B. 8.1.

**Tabla B. 8.1 Período de diseño, según el nivel de complejidad del sistema**

Nivel de complejidad del sistema	Período de diseño
Bajo, Medio y Medio Alto	25 años
Alto	30 años

Sin embargo, el período de diseño puede ser mayor, según el período de diseño de los demás elementos del sistema al que pertenece el bombeo.

## 8.4.2 Caudal de diseño

La capacidad de la estación de bombeo depende de la forma en que se efectúe el bombeo, el cual se debe realizar en todos los casos hacia un tanque, en donde se debe cumplir lo siguiente:

1. Si el bombeo es a un tanque de almacenamiento, el caudal de diseño es el Caudal Máximo Diario (QMD), si el bombeo es de 24 horas. En caso que el bombeo no se realice en forma continua durante 24 horas, el caudal de diseño corresponderá al QMD multiplicado por el factor de horas de bombeo.
2. Si el bombeo es a un tanque de compensación, el caudal de diseño es el Caudal Máximo Horario (QMH).

No se permite en ningún caso el bombeo directo hacia la red de distribución. De igual forma, no se permite el bombeo directo desde la red de distribución para abastecer a un usuario. Se exceptúan de las consideraciones anteriores las estaciones de bombeo de refuerzo, llamadas también *Booster*, para elevar la presión de la red en un determinado sector de servicio, con bombas de velocidad variable; estas deben ser aprobadas por la persona prestadora del servicio público de acueducto.

## 8.4.3 Tiempo de bombeo

Para el nivel de complejidad del sistema alto, el tiempo de bombeo recomendado para el caudal de diseño es de 24 h/día. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto, el tiempo de bombeo recomendado para el caudal de diseño es de 20 h/día. Para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, el tiempo de bombeo recomendado para el caudal de diseño es de 12 h/día. Sin embargo este valor puede ajustarse a partir de una evaluación económica con base en el costo del bombeo por hora y especialmente de acuerdo con la curva de variación horaria del consumo de la localidad y el volumen requerido de almacenamiento.

## 8.4.4 Materiales

### 8.4.4.1 Materiales de las bombas

Los materiales de las bombas incluyendo los impulsores, las carcchas y otros componentes, deben ser seleccionados de acuerdo con las características del agua que va a bombearse y teniendo en cuenta la temperatura, la conductividad, la capacidad de corrosión y sólidos en suspensión.

El material de las bombas y de los diferentes componentes debe resistir los efectos de corrosión que el agua pueda causar en ellos. Se pueden utilizar

materiales como: hierro fundido, acero inoxidable, acero al carbón, acero fundido y hierro dúctil. Para los accesorios de la bomba se puede usar latón y bronce. Todos los materiales utilizados deben estar certificados por normas técnicas nacionales o internacionales.

#### 8.4.4.2 Materiales de las tuberías y accesorios

Los materiales que se pueden utilizar para las tuberías de succión y de impulsión en las estaciones de bombeo son los siguientes: hierro dúctil (HD), polivinilo de cloruro (PVC) RDE 13.5, poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP), concreto reforzado con o sin cilindro de acero (CCP). En la Tabla B. 6.23, se incluyen las normas técnicas respectivas.

#### 8.4.5 Número de Bombas

El número de bombas en la estación de bombeo debe definirse desde la etapa de diseño de acuerdo con la capacidad requerida, las etapas de desarrollo y la energía disponible. El número de bombas debe estar sujeto a una evaluación económica. De todas formas el número mínimo de bombas es dos, cada una con una capacidad igual al caudal de diseño de la estación de bombeo.

Cuando el número de bombas sea mayor que dos, la capacidad debe distribuirse equitativamente entre ellas. Además, deben preverse unidades de reserva del mismo tipo. Cuando se requieran tres o más bombas, debe colocarse una unidad adicional como reserva por cada tres bombas empleadas.

#### 8.4.6 Tipo de Bombas

Desde la etapa de diseño, las bombas deben seleccionarse de forma tal que se obtenga la capacidad y la altura dinámica requeridas, establecidas por el punto de operación el cual debe determinarse de acuerdo con las curvas características del sistema de bombeo y del sistema de tuberías de impulsión.

El dimensionamiento y la selección del tipo de bombas debe realizarse en conjunto con la tubería de impulsión y con el tanque de almacenamiento de aguas abajo, buscando siempre la condición de costo mínimo, incluyendo los costos iniciales, los costos de construcción, de operación, de expansión y de mantenimiento, siguiendo lo establecido en el análisis de generación de alternativas descrito en el literal B.8.5.1 de este Título. Adicionalmente deben tenerse en cuenta las Norma Técnica NTC 1775 y las normas AWWA E 101.

El diseño debe tener en cuenta los siguientes criterios para la selección del tipo de bombas:

1. El espacio requerido para la instalación de las bombas dentro de la estación de bombeo.

2. La forma de operación prevista de las bombas, en serie o en paralelo.
3. La variación en los niveles máximo y mínimo en el pozo de succión y en la descarga.
4. La variación de los caudales bajo las diferentes condiciones de operación hidráulica de la estación de bombeo.
5. El tiempo de operación de las bombas.
6. La compatibilidad con otros equipos de bombeo existentes en el municipio.
7. El nivel del ruido generado por la operación de las bombas.

## 8.4.7 Pozo de succión

### 8.4.7.1 Aspectos generales para el dimensionamiento del pozo de succión

En caso de que se tenga un pozo de succión independiente de un tanque de almacenamiento, éste se debe diseñar para un caudal igual o superior a la suma de los caudales de diseño de las bombas. En cuanto a la forma del pozo, deben seguirse las siguientes recomendaciones:

1. La entrada de agua al pozo no debe producir turbulencias, para lo cual se recomienda hacerla por medio de compuertas o conductos sumergidos.
2. La forma y dimensiones del pozo no puede interferir con el buen funcionamiento de las bombas. Se deben seguir las recomendaciones de los fabricantes de éstas.
3. Debe evitarse la formación de vórtices.
4. En caso que se tenga un canal como entrada al pozo de succión, éste debe ser preferiblemente rectangular.
5. El pozo no debe tener cambios geométricos pronunciados, cambios bruscos de dirección del flujo, pendientes pronunciadas y formas rápidamente divergentes.
6. El diseño de la estación debe prever un espacio para la instalación y montaje de los equipos de bombeo y sus tuberías de succión, así como para las futuras labores de inspección y mantenimiento.
7. La entrada de agua al pozo debe estar por debajo del nivel de agua en la tubería de succión.
8. La distribución de velocidades de flujo de entrada a cada bomba debe ser lo más uniforme posible.

### 8.4.7.2 Sumergencia de las bombas

La sumergencia mínima de la tubería de succión debe ser mayor que 2 veces su diámetro, pero nunca inferior a 0.50 m.

### 8.4.7.3 Distancia entre el fondo y/o paredes y la boca de la tubería de succión

La distancia entre el fondo y/o paredes del pozo de succión y la boca de la tubería de succión debe estar entre 0.5 y 1.5 veces el diámetro de la tubería de succión, pero no puede ser inferior a 0.25 m.

### 8.4.7.4 Velocidad de entrada

La velocidad de entrada al pozo de succión no debe ser mayor que 0.7 m/s. Se recomienda tener una velocidad de 0.5 m/s para las condiciones normales de operación.

### 8.4.7.5 Dispositivos complementarios

1. El pozo de succión debe contar con las tuberías y válvulas necesarias para su drenaje. Debe disponerse de un vertedero de exceso de agua en el pozo de succión.
2. La entrada debe estar provista de una rejilla, o en su defecto debe destinarse un espacio para un desarenador entre la entrada al pozo y la tubería de succión.

## 8.4.8 Tuberías de succión e impulsión

### 8.4.8.1 Diámetros de tuberías de succión e impulsión

El diámetro de las tuberías de succión e impulsión en una estación de bombeo debe obedecer al análisis económico realizado a través de un programa de computador en el cual se analice el costo de la energía de bombeo versus el costo de la tubería y el sistema aguas abajo de la bomba. Sin embargo, los diámetros de las tuberías de succión y de impulsión no pueden ser menores que los admitidos por el equipo de bombeo. El diseño debe recomendar que el diámetro de la tubería de succión sea mayor que el de la tubería de impulsión en por lo menos 50 mm.

En caso que el diámetro de la tubería de succión sea mayor que el diámetro de la boca de admisión de la bomba, debe instalarse una reducción excéntrica con su parte superior horizontal.

### 8.4.8.2 Velocidades en tuberías de succión

La velocidad mínima en las tuberías de succión será 0.45 m/s.

La velocidad máxima en tuberías de succión depende del diámetro, y debe establecerse teniendo en cuenta el cálculo de la altura neta de succión positiva (NPSH). También se debe seguir lo establecido en la tabla B. 8.2 mostrada a continuación:

Tabla B. 8.2 Velocidad máxima aceptable en la tubería de succión, según el diámetro

Diámetro de la tubería de succión	Velocidad máxima
50 mm	0.75 m/s
75 mm	1.00 m/s
100 mm	1.30 m/s
150 mm	1.45 m/s
200 mm	1.60 m/s
250 mm	1.60 m/s
300 mm	1.70 m/s
Mayor que 400 mm	1.80 m/s

#### 8.4.8.3 Velocidades en tuberías de impulsión

La velocidad mínima en las tuberías de impulsión debe ser de 1.0 m/s.

La velocidad máxima en las tuberías de impulsión debe ser menor que 6 m/s. Sin embargo, esta velocidad máxima debe estar justificada por un análisis de generación de alternativas, tal como lo establecido en el literal B.8.5.1 de este Título.

#### 8.4.9 Instalación de tuberías

Con respecto a la instalación de las tuberías de succión y en especial a las de impulsión se debe seguir lo establecido en los literales B.6.6.2 y B.6.6.4, de este Título.

#### 8.4.10 Distancias a otras redes

Con respecto a las distancias mínimas entre las tuberías de succión y las de impulsión a otras redes de servicios públicos se debe seguir lo establecido en el literal B.6.6.5 “Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos”, de este Título.

#### 8.4.11 Sala de bombas

En el diseño, las dimensiones de la sala de bombas deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. El tamaño de la sala debe ser suficiente para alojar el conjunto o los conjuntos bomba-motor y los equipos de montaje. Las dimensiones deben permitir la facilidad de circulación, montaje y desmontaje de los equipos, y dado el caso el movimiento de todas las unidades de bombeo.
2. Las dimensiones de la sala de bombas deben ser compatibles con las del pozo de succión con el fin de asegurar una adecuada distribución de la obra civil, buscando al mismo tiempo minimizar los costos.

## 8.4.12 Generación y control de ruido

El diseño de la estación de bombeo debe cumplir con lo establecido en la Resolución 0627 del 7 de Abril de 2006, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o la norma que la modifique, adicione o sustituya.

# 8.5 Diseño de las estaciones de bombeo

## 8.5.1 Generación de alternativas

Siempre que se diseña una estación de bombeo, existen varias alternativas de combinación potencia de bomba, diámetro de tubería de impulsión y material de tubería de impulsión, las cuales cumplen con las condiciones hidráulicas de caudal de bombeo y altura estática entre el tanque de almacenamiento de la línea de impulsión y el tanque o pozo de succión. Por consiguiente, el diseño de la estación de bombeo debe buscar la alternativa óptima económica de combinación de los diferentes diámetros económicos y según los materiales de fabricación de la tubería de impulsión, la potencia de las bombas y el consumo de energía de éstas a lo largo de las diferentes etapas del período de diseño y que cumpla con todas las restricciones hidráulicas.

El diseño debe realizarse para los diferentes materiales, que cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto, establecidos en el literal B.8.4.4.2 para tuberías y en el literal B.8.4.4.1 para bombas y el cálculo del diámetro económico de cada alternativa debe seguir lo establecido en el literal B.8.5.4 del presente Título. De todas formas debe tenerse en cuenta lo establecido en el reglamento técnico de tuberías, Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007 expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o la norma que las modifique, adicione o sustituya.

Las alternativas que se planteen deben basarse en criterios hidráulicos y deben ser evaluadas dentro de un proceso de optimización financiera que permita escoger aquella de menor costo económico, la cual debe ser objeto del diseño definitivo. En particular, el diseño debe asegurar que bajo las diferentes formas de operación, las bombas y motores operen en puntos cercanos a su eficiencia máxima.

Para el cálculo del diseño óptimo económico que cumpla con las restricciones hidráulicas, se podrá utilizar cualquier programa comercial de análisis de redes que incluya el diseño optimizado mediante técnicas de inteligencia artificial, tales como algoritmos genéticos, lógica difusa, sistemas expertos, etc. incluyendo los costos de materiales, los costos de instalación y los costos de operación y mantenimiento a lo largo del período de diseño del proyecto.

## 8.5.2 Ecuación del sistema

En el caso que el bombeo únicamente incluya una tubería de impulsión hacia un tanque de almacenamiento y/o compensación aguas abajo, la ecuación del sistema se debe obtener utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach en conjunto

con la ecuación de Colebrook-White ó la fórmula de Williams & Hazen teniendo en cuenta los rangos de validez. Para el uso de estas ecuaciones se debe utilizar la metodología establecida en el literal B.6.5.4 de este Título al igual que los coeficientes de rugosidad absoluta definidos en el mismo literal.

Para calcular la curva del sistema se debe hacer uso de la siguiente ecuación que relaciona el caudal a través de la tubería de descarga con la altura dinámica total.

$$H = H_T + \sum h_f + \sum H_m \quad (\text{B. 8.1})$$

donde:

$H$  = Altura dinámica total. Corresponde a la diferencia de altura entre la entrada y la salida de la bomba (m).

$H_T$  = Diferencia topográfica máxima entre el nivel del agua mínimo en el tanque de almacenamiento de aguas arriba y el nivel de agua máximo en el tanque de almacenamiento de aguas abajo (m).

$h_f$  = Pérdidas por fricción en las tuberías de impulsión y succión (m).

$H_m$  = Pérdidas menores causadas por todos los accesorios en las tuberías de succión e impulsión (m).

Para el cálculo de las pérdidas menores se debe seguir lo establecido en el literal B.6.5.4.2. En el caso que aguas abajo de la bomba exista un tanque que alimente una red de distribución de agua potable, el consultor debe utilizar un programa de análisis hidráulico de sistemas de acueducto basado en el método del gradiente descrito en el literal B.7.5.2 con el fin de obtener la ecuación del sistema para las diferentes condiciones de operación del bombeo y de demanda de agua en el sistema. Este análisis debe incluir los períodos de caudal máximo de consumo y el período de caudal mínimo de consumo durante las horas de la noche.

## 8.5.3 Bombas

### 8.5.3.1 Potencia

La potencia requerida por la bomba debe ser la suficiente para obtener la capacidad del sistema bajo la condición de caudal máximo de operación. Esta potencia se calcula de acuerdo con la Ecuación (B. 8.2).

$$P = \frac{Q \times r \times H}{\eta} \quad (\text{B. 8.2})$$

donde:

$P$  = Potencia requerida por la bomba (W).

$Q$  = Caudal de operación ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$r$  = Peso específico del agua ( $\text{N}/\text{m}^3$ ).

$H$  = Altura total de bombeo incluyendo la altura topográfica, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores existentes en las tuberías de impulsión (m).

$\eta$  = Eficiencia del bombeo.

### 8.5.3.2 Altura piezométrica neta de succión positiva (NPSH)

La altura neta de succión positiva disponible se debe calcular de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{atm}}{\rho \cdot g} + H_{es} - h_f - \frac{P_v}{\rho \cdot g} \quad (\text{B. 8.3})$$

donde:

- $P_{atm}$  = Presión atmosférica (Pa).
- $H_{es}$  = <sup>6</sup>Altura estática de succión (incluyendo su signo) (m).
- $h_f$  = Pérdidas por fricción (m).
- $P_v$  = Presión de vapor (Pa).
- $\rho$  = Densidad del agua ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).
- $g$  = Aceleración de la gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ ).

La altura neta de succión positiva requerida por el fabricante debe ser menor que el valor de la altura neta de succión positiva disponible en la instalación en por lo menos un 20%, para las condiciones más adversas de operación. En ningún caso la diferencia puede ser menor que 0.5 m. Para todos los caudales previstos debe verificarse que no ocurra el fenómeno de cavitación.

### 8.5.3.3 Ecuaciones de las bombas

La ecuación de la bomba debe ser suministrada por el fabricante de estos equipos. En caso que esta ecuación no exista, el fabricante debe suministrar la curva de operación de la bomba y el consultor debe efectuar un análisis de regresión numérica con el fin de obtener la ecuación. Ésta debe tener la forma establecida en la siguiente ecuación:

$$H = AQ^2 + BQ + C \quad (\text{B. 8.4})$$

donde:

- $H$  = Altura dinámica total de bombeo, incluyendo la altura estática, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores en la tubería de impulsión (m).
- $Q$  = Caudal de bombeo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- $A, B, C$  = Coeficientes de la ecuación.

## 8.5.4 Tuberías de succión e impulsión

### 8.5.4.1 Diámetros de las tuberías

Para predefinir el diámetro más económico de las tuberías de impulsión y descarga de una estación de bombeo, se debe hacer uso de la siguiente ecuación:

<sup>6</sup> Calculada como la diferencia de altura entre el plano de referencia de la NPSH, de acuerdo con las normas ISO 2548 o DIN 1994 4, o cualquier otra norma internacional equivalente, y el nivel de agua mínimo en el pozo de succión.

$$De = 1.2 \left( \frac{t}{24} \right)^{0.25} \times \sqrt{Q} \quad (\text{B. 8.5})$$

donde:

- $t$  = Número de horas de bombeo por día (h).  
 $Q$  = Caudal de bombeo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).  
 $De$  = Diámetro económico interno de la tubería (m).

El diámetro definitivo de las tuberías de impulsión en una estación de bombeo debe obedecer al análisis económico de las alternativas generadas, en el cual se tenga en cuenta el costo de la energía de bombeo versus el costo de la tubería y el sistema aguas abajo de la bomba.

### 8.5.4.2 Corrosión en tuberías

Con respecto a las tuberías de impulsión y descarga conformadas por materiales metálicos, ninguna parte metálica del sistema debe estar en contacto directo con el agua. En el caso de tuberías de acero se debe utilizar recubrimiento interno y externo en mortero como se indica en el literal B.8.5.4.3. En el caso de tuberías con diámetros inferiores a 300 mm se debe utilizar pinturas epóxicas al interior de la tubería. En caso que económicamente sea posible utilizar la alternativa de aceros inoxidables, ésta es la mejor opción. Todas las protecciones contra la corrosión tanto interna como externa en las tuberías de impulsión y/o succión deben cumplir con lo estipulado en las normas AWWA, DIN ó ISO.

Adicionalmente, los materiales y recubrimientos que conformen los diferentes accesorios de las tuberías de succión y descarga y las bombas en sí deben ser resistentes a la posibilidad de corrosión. Si el acero es el material más adecuado o la única opción, se debe buscar que éste sea acero inoxidable.

### 8.5.4.3 Recubrimientos y protección de tuberías

Con respecto al recubrimiento y protección de tuberías de impulsión y succión se debe seguir lo establecido en el literal B.6.5.7 “Recubrimiento y protección de tuberías”, de este Título.

## 8.5.5 Válvulas y accesorios en las estaciones de bombeo

### 8.5.5.1 Condiciones básicas

La estación de bombeo debe tener ciertos accesorios que permitan una fácil operación, de acuerdo con las siguientes disposiciones:

1. Las válvulas de corte o cierre deben tener una señalización que indiquen si se encuentran abiertas o cerradas.
2. Las válvulas mayores que 300 mm de diámetro deben tener

- actuadores electromecánicos, para facilidad de operación.
3. Para las válvulas de accionamiento manual, deben colocarse dispositivos que hagan posible su operación con una fuerza tangencial menor que 200 N.
  4. Las válvulas de corte y cierre deben estar instaladas en sitios de fácil acceso para la persona prestadora del servicio encargada de la operación de la estación de bombeo.
  5. Los accesorios deben instalarse en forma tal que resulte fácil su inspección y mantenimiento y que permitan un adecuado montaje y desmontaje.

### 8.5.5.2 Accesorios necesarios

El diseño de la estación de bombeo debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Todas las unidades de bombeo deben tener una válvula de corte o cierre, o una válvula esférica con cheque en la tubería de impulsión.
2. En el caso que el diseño contemple la instalación de bombas en pozos secos, y que operen por debajo del nivel de succión, deben tener una válvula de corte o cierre en la línea de succión.
3. En una tubería de succión que no trabaje con carga positiva debe instalarse una válvula de pie (retención) en la parte inferior para evitar su vaciado.
4. En caso que el tipo de bomba que vaya a utilizarse requiera el uso de válvulas de ventosa, el diseño debe prever la instalación de éstas, indicando su forma de operación y mantenimiento.

En todo caso, deben consultarse las Normas Técnicas NTC 1991, NTC 2011; en el caso de utilizar válvulas de retención, debe tenerse en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 1762, o las Normas AWWA C508, AWWA C510.

### 8.5.6 Eficiencia del bombeo

El diseño debe asegurar que para todas las posibles condiciones de operación de las bombas, éstas trabajen en o cerca de su punto de máxima eficiencia, de acuerdo con la curva de eficiencia suministrada por el fabricante del equipo. El punto de operación del sistema de bombeo corresponde al cruce de las curvas de las bombas y del sistema, para cualquiera de las condiciones de operación de bombeo, ya sea en serie o en paralelo. Este punto de operación se debe obtener a partir de las alturas piezométricas, con base en las cuales se debe estimar la altura dinámica total y el caudal de bombeo. Esta condición de operación se debe comparar con el punto de operación inicial para establecer posibles problemas de la bomba o del sistema.

Para el diseño de las estaciones de bombeo se deben evitar las curvas de doble pendiente teniendo en cuenta los siguientes puntos:

1. Si se está dentro de la zona de doble operatividad, es necesario tener en cuenta que a cualquier altura ( $H$ ) le corresponden dos valores de caudal ( $Q$ ).
2. Si se está por debajo o por fuera de la zona de doble operatividad, a cualquier punto de altura ( $H$ ) de la curva le corresponde un solo caudal ( $Q$ ) y la bomba trabaja con su mayor eficiencia.
3. La zona de máxima eficiencia del bombeo siempre se encuentra por fuera de la zona donde se presenta la doble operatividad.
4. Cuando se tienen dos bombas trabajando simultáneamente, existe la tendencia a trabajar en la zona de doble operatividad. El diseño debe controlar esto disminuyendo la altura estática de bombeo.

### 8.5.7 Golpe de Ariete en estaciones de bombeo

El diseño de la estación de bombeo debe tener en cuenta el efecto de golpe de ariete causado por interrupciones en el suministro de energía eléctrica y la consecuente interrupción del flujo de agua. El cálculo de golpe de ariete debe realizarse para el caudal máximo bajo las diferentes formas de operación de la estación de bombeo de acuerdo con lo establecido en el literal B.6.5.8.1 de este Título. Siempre debe calcularse la sobre-elevación de presiones, las subpresiones y la velocidad de la onda de compresión.

En las estaciones de bombeo se debe disponer de mecanismos para el control del fenómeno del golpe de ariete, tales como volantes de inercia, válvulas anti-golpe de ariete, tanques hidroneumáticos y/o almenaras; en el programa de cálculo de golpe de ariete se deben simular estos mecanismos de control de subpresiones y sobrepresiones.

Se recomienda que las sobrepresiones máximas no superen más del 30% de la altura dinámica total, y en lo posible se deben evitar presiones negativas en las tuberías. Adicionalmente, no se permite utilizar válvulas anticipadoras o de cheque como mecanismos de control del golpe de ariete.

### 8.5.8 Instalaciones eléctricas en las estaciones de bombeo

El diseño de la estación de bombeo debe cumplir con las siguientes especificaciones, con respecto a las instalaciones eléctricas para la acometida de alta tensión, la subestación transformadora, la acometida de baja tensión y el sistema de potencia.

### 8.5.8.1 Acometida de alta tensión

La acometida de alta tensión, desde la red de distribución, debe realizarse al mismo voltaje del sistema primario de distribución.

### 8.5.8.2 Subestación transformadora

El diseño de la subestación transformadora debe tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. En lo posible, deben diseñarse subestaciones exteriores.
2. En las subestaciones de menos de 75 kW, el transformador debe instalarse sobre postes de concreto.
3. Si la subestación es de 75 kW o mayor, el transformador debe instalarse superficialmente sobre una base de concreto provista de rieles para permitir su fácil instalación y mantenimiento. En este caso el diseño debe incluir la construcción de una cerca de malla protectora, provista de una puerta suficientemente amplia que permita la entrada del transformador.
4. La protección eléctrica del circuito primario contra corto circuito debe realizarse con fusibles en caja primaria, en el último poste o en el seccionador.
5. Debe protegerse el circuito primario de la estación contra sobre voltaje, mediante pararrayos en las tres líneas con conexiones a tierra.
6. Debe protegerse el circuito secundario contra cortos circuitos, por medio de un interruptor automático.

Para el diseño de la subestación transformadora debe seguirse todo lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 3654 y, en general, la NTC 2050 “Código Eléctrico Colombiano”.

### 8.5.8.3 Acometida de baja tensión

El diseño de la acometida de baja tensión debe tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. El conducto debe diseñarse para soportar un 25% de sobrecarga, en cobre, con el diámetro apropiado y teniendo en cuenta las ampliaciones/extensiones de la estación de bombeo en el futuro.
2. El tipo de aislamiento debe ser TW o su equivalente, y no se deben realizar empalmes en su trayectoria completa.
3. Debe proyectarse una acometida de varios cables por fase, con el objeto de facilitar la construcción, cuando el diámetro por fase del conductor de la acometida común sea mayor que 50 mm.
4. Las acometidas deben protegerse apropiadamente con tubería eléctrica de PVC (embebida o enterrada) o Conduit metálica

galvanizada (expuesta) de acuerdo con los requerimientos por número de conductores, calibre, disipación de calor, etc., en los diámetros existentes en el mercado. En el caso de las tuberías Conduit debe tenerse en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 105.

5. Si el diámetro requerido es mayor que 100 mm se deberá considerar la utilización de condulines en concreto o un canal de concreto (cárcamo) con tapas en lámina corrugada (alfajor o similar).
6. En todo canal de concreto debe proveerse un desagüe apropiado.
7. Deben proveerse cajas de empalme en la tubería, separadas a una distancia no mayor 20 m.
8. Las tuberías o canales protectores deben enterrarse a una profundidad mínima de 0.6 m por debajo del piso.
9. Los empalmes de tubería conduit metálica a PVC o viceversa se realizarán a través de caja de empalme ó por unión ó condulete, utilizando adaptadores roscados en la tubería PVC.

Todas las instalaciones eléctricas relacionadas con la acometida de baja tensión, debe cumplir con lo establecido en la Norma NTC 105 y en la Norma NTC 2050.

#### 8.5.8.4 Sistema de potencia

En general, para el diseño de los circuitos de los motores, se debe seguir lo establecido en las normas del Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050). El diseño debe tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. **Accionamiento de las bombas:** Siempre que sea posible, las bombas deben accionarse con motores eléctricos directamente acoplados a ellas.
2. **Motores de emergencia:** Si en el sitio de instalación de la estación de bombeo no hay seguridad en el servicio de energía eléctrica, el diseño debe contemplar fuentes suplementarias de energía, justificando la conveniencia de utilizar motores Diesel o un generador eléctrico.
3. **Características de los motores:** Los motores eléctricos que accionan las bombas deben tener una velocidad sensiblemente constante, un par de arranque alto de acuerdo con el sistema de acople utilizado con la bomba (protección contra el golpe de ariete) y un buen factor de potencia.
4. **Arrancadores:** Para motores con una potencia menor que 7.5 kW, el diseño debe utilizar arrancadores de pleno voltaje o arrancadores compensados. Para motores con potencia superior, el diseño debe seleccionar el arrancador que se ajuste al par solicitado por el montaje realizado (directo) y de acuerdo con la secuencia de arranque. El diseño debe preferir

- la instalación de arrancadores electrónicos que permiten un ahorro de energía eléctrica.
5. **Voltaje de los circuitos:** Si la potencia de los motores de la estación de bombeo está entre 4 y 250 kW, se recomienda utilizar un voltaje entre 200 y 500 Vac trifásico. Para motores con potencia mayor que 250 kW, se recomienda utilizar un voltaje de 1000 Vac trifásico.
  6. **Caída total de tensión:** La caída total de tensión desde la acometida hasta cualquier motor, no debe exceder el 5%.
  7. **Protección de los circuitos eléctricos:** El diseño debe contemplar el uso de interruptores automáticos con protección termo-magnética, protección contra sobrecargas y contra cortos circuitos. Para un esquema básico de arrancador: interruptor-contador-térmico; el primero no puede ser automático.
  8. **Conductores y aislamiento:** El diseño debe especificar los conductores teniendo en cuenta los posibles cambios de potencia de los motores en el futuro, para ampliaciones/extensiones de la estación de bombeo. Los conductores deben ser de cobre con aislamiento tipo TW para 600 V.
  9. **Canalización de los conductores:** La canalización debe realizarse en tubería Conduit galvanizada, o PVC, si el diámetro nominal requerido no es mayor que 100 mm. En caso contrario, deben utilizarse varias tuberías de 50 mm o un canal de cables del cual se realizará la derivación, en coraza flexible, a cada uno de los motores.
  10. **Arranque y parada a control remoto:** Cuando se necesite arrancar y parar los motores a control remoto, deben proveerse equipos coordinadores y supervisores del proceso para su control, como un PLC, el cual debe estar unido a los interruptores automáticos, accionamientos por flotador y otros elementos para el control instalados en la estación de bombeo, con el objeto de actuar sobre los circuitos, de tal forma que permitan el pare y arranque a control remoto del arrancador.
  11. **Conexión de carcasa a tierra:** Durante la construcción de la obra civil el diseño debe proveer un sistema a tierra, el cual debe cumplir con los requerimientos técnicos y lo exigido por seguridad industrial para garantizar la protección de los equipos y los operadores al que debe conectarse rígidamente la carcasa de los motores.

#### 8.5.8.5 Sistema de alumbrado de la estación de bombeo

Con respecto al sistema del alumbrado de la estación de bombeo, el diseño debe seguir las recomendaciones establecidas por el CIDET, el IES u otras

instituciones equivalentes. En particular debe tener en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Los circuitos del sistema de alumbrado deben protegerse con interruptores automáticos con protección térmica y magnética.
2. La potencia inicial para un circuito de 15 A no debe exceder 1 kW.
3. La caída de tensión de un circuito derivado no debe exceder el 3%.
4. En ningún caso debe utilizarse un conductor menor que el número 12.
5. Si en el sistema de fuerza se utiliza un voltaje de línea de 200 V, la red de alumbrado puede derivarse del neutro y una de las fases, para obtener un voltaje de 127 V.
6. Si el sistema utiliza un voltaje de 440 V, la red de alumbrado debe incluir un transformador de 440/208/120 V.

## 8.5.9 Dispositivos de medición y control

### 8.5.9.1 Instrumentación de la estación de bombeo

El diseño de la estación de bombeo debe incluir para el nivel de complejidad del sistema alto, dispositivos de control e instrumentación para medir en tiempo real las condiciones de operación de la estación y detectar las fallas rápidamente. En lo posible, estos dispositivos deben ser automáticos, reduciendo al máximo la intervención del operador en las labores de medición. Con respecto a la instrumentación y control, el diseño debe incluir los siguientes dispositivos de control:

1. Manómetros en las tuberías de impulsión.
2. Indicadores de presión en la línea de succión, incluyendo para aquellas ocasiones en las cuales trabaje con presiones manométricas negativas.
3. Interruptor eléctrico o electrónico accionado por flotador en el tanque de succión, cuando éste exista, conectado con el arrancador de la bomba.
4. Interruptor electrónico o eléctrico accionado por flotador en el tanque de la descarga, conectado con el arrancador de la bomba.
5. Alternador de arranque de las bombas.
6. Alarma de bajo nivel del agua en el pozo de succión.
7. Totalizador de caudales a la salida de la estación de bombeo.

Además de los dispositivos anteriores, en los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto deben colocarse los siguientes dispositivos de control:

1. En el caso que las bombas tengan una altura positiva de succión, se debe colocar un presostato que regule, de forma general, todo el equipo de bombeo.

2. Manómetro o vacuómetro con el fin de controlar las presiones de entrada a la bomba.
3. Tacómetros durante la prueba inicial en el motor de cada bomba.
4. Indicadores de presión y temperatura del aceite en los motores de combustión interna.
5. Sistemas de auto lubricación en las bombas y cebado automático, en caso que éste se requiera.
6. Relés de mínima potencia conectado al motor, de máxima potencia para proteger contra altos voltajes el motor, diferencial de fases contra variaciones de tensión de una fase individual y de contacto a tierra para proteger el motor.

### 8.5.9.2 Sala de Control

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, los sistemas de medición deben transmitir los datos a la sala de control, en la cual se ubicarán tableros que indiquen las condiciones de operación de la estación. Como mínimo, los tableros deben incluir el caudal instantáneo por unidad de bombeo, la presión en las líneas de succión y descarga, el nivel del agua en el pozo de succión, la temperatura y presión del aceite, el voltaje y amperaje en las líneas de alimentación de las bombas y las revoluciones por minuto de los motores.

Así mismo, en la sala de control deben disponerse los interruptores y mecanismos que permitan poner fuera de servicio cualquier elemento relacionado con el sistema de bombeo.

## 8.5.10 Instalaciones complementarias para las estaciones de bombeo

### 8.5.10.1 Accesos y escaleras

En caso que la estación de bombeo cuente con varios pisos deben colocarse escaleras seguras y apropiadas que permitan la movilización del personal y los equipos necesarios. En caso de falta de espacio, deben usarse escaleras metálicas con barandilla, peldaños amplios y piso antideslizable.

### 8.5.10.2 Iluminación

La estación debe estar debidamente iluminada en su interior, ya sea por luz natural o artificial, evitando la utilización de aparatos que puedan provocar ilusiones ópticas.

### 8.5.10.3 Señalización

El diseño de la estación de bombeo debe incluir una señalización visual clara en toda el área, indicando zonas de peligro de alta tensión, salidas

de emergencia, localización de extintores, áreas de tránsito restringido y demás elementos y actividades que sea necesario resaltar por su peligro potencial o porque resulten importantes en la prevención de accidentes.

La señalización debe cumplir con la Norma Técnica NTC 1461; las señales contra incendio, deben considerar las Normas Técnicas NTC 1931 y NTC 1867.

#### 8.5.10.4 Ventilación

Con respecto a la ventilación, el diseño de la estación de bombeo debe tener en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Todas las salas, compartimientos, pozos y otros recintos cerrados por debajo del nivel del terreno, que puedan presentar un aire perjudicial, deben contar con una ventilación artificial forzada, realizando un mínimo de 6 cambios completos de aire por hora, cuando la ventilación es continua y 30 cuando es intermitente.
2. Los controles de ventilación forzada podrán ser accionados manualmente desde afuera del recinto o automáticamente, por medio de sensores, cuando se detecte concentración perjudicial de gases en el aire.

El diseño en todo caso debe seguir lo establecido en la Norma Técnica NTC 1260.

#### 8.5.10.5 Protección contra incendios

En la estación de bombeo debe colocarse extintores contra incendio en sitios de fácil acceso donde puedan ocurrir inicios de incendio. La protección contra incendios debe incluir equipos de detección de incendios, para lo cual se debe cumplir con la norma técnica NTC 1483.

#### 8.5.10.6 Equipos de movilización y carga

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, el diseño de la estación de bombeo debe incluir elementos que permitan el transporte y movilización de maquinaria y equipo, tales como puentes grúas, rieles, poleas diferenciales, etc., teniendo en cuenta las siguientes disposiciones:

1. La capacidad del equipo debe ser suficiente para mover el elemento de mayor peso que pueda ser transportado al interior de la estación.
2. La trayectoria del equipo durante su movilización al interior de la estación de bombeo debe analizarse para permitir que en todo momento el retiro, la movilización y la reposición de cualquier elemento de la estación sea fácil y expedita.

3. El diseño debe prever todos los accesos necesarios a la casa de bombas, de manera que permitan el manejo adecuado de los equipos en las labores de mantenimiento, retiro o reposición de elementos de la estación.

### 8.5.10.7 Drenaje de pisos

El diseño de la estación de bombeo debe incluir el análisis del drenaje de los pisos de la estación teniendo en cuenta los siguientes requerimientos:

1. El diseño debe incluir uno o dos pozos de drenaje hacia los cuales debe conducirse el agua de fugas o lavado, por medio de una pendiente muy suave en el piso de la sala de bombas.
2. Cuando los pozos de drenaje no puedan ser evacuados por gravedad, deben disponerse bombas para tal fin. En los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, estas bombas deben accionarse automáticamente por sensores que detecten el nivel del agua en los pozos de drenaje.

### 8.5.10.8 Instalaciones hidráulicas y sanitarias

El diseño de la estación de bombeo debe incluir instalaciones hidráulicas y sanitarias teniendo en cuenta las siguientes disposiciones:

1. Debe proveerse un tanque con capacidad adecuada para atender las necesidades de agua potable en la estación de bombeo.
2. Las aguas residuales provenientes de lavado de equipos y limpieza deben ser recogidas por un sistema adecuado que las conduzca hasta un sitio seguro, desde el punto de vista sanitario.

### 8.5.10.9 Aislamiento acústico

El diseño de la estación de bombeo debe incluir el análisis del aislamiento acústico teniendo en cuenta los siguientes requerimientos:

1. En caso que puedan presentarse incomodidades para los vecinos de la estación por ruido excesivo, debe diseñarse un sistema de aislamiento acústico de la estación.
2. Cuando exista, la sala de operación y control debe tener aislamiento acústico de la sala de bombas.

## 8.5.11 Comprobación de diseño bajo diferentes condiciones de operación

Una vez finalizado el diseño de la estación de bombeo, éste debe comprobarse para todas las condiciones de operación que puedan ocurrir durante

la vida útil del proyecto, incluyendo flujo permanente y condiciones de flujo no permanente o golpe de ariete.

Las variables que se deben tener en cuenta para comprobar las diferentes condiciones de operación incluyen entre otras: capacidad del bombeo, altura dinámica, altura estática, velocidad, potencia hidráulica, eficiencia de las bombas, altura neta de succión positiva (NPSH) disponible de las bombas y requerida del sistema, aceleración de la gravedad y viscosidad cinemática del agua.

La comprobación de diseño bajo diferentes condiciones hidráulicas de operación se debe llevar a cabo haciendo uso del programa para el cálculo hidráulico de redes de distribución de agua potable de acuerdo con lo descrito en el literal 7.5.2 de este Título.

## 8.5.12 Protocolos de prueba del diseño

Como parte del diseño, el consultor debe establecer cuáles son las pruebas que se deben llevar a cabo una vez finalice la construcción de la estación de bombeo y la colocación de los equipos eléctricos y mecánicos. El diseño debe establecer los puntos de medición de caudal, de velocidades y de presiones, los equipos de toma de mediciones, su precisión y el nivel de frecuencia de toma de datos. La diferencia máxima admisible entre los valores del diseño y los de las pruebas de campo debe ser del 5%.

Los protocolos de prueba deben incluir condiciones hidráulicas con diferentes aperturas de válvula, operación de bombas en grupo, operación de bombas en forma individual y para diferentes condiciones de niveles de agua en los tanques de almacenamiento de aguas arriba y aguas abajo.

Las pruebas establecidas en el protocolo de prueba deben ser llevadas a cabo por el constructor del proyecto, bajo la supervisión de la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio.

## 8.5.13 Manual de operación

Para todos los niveles de complejidad del sistema, y como una parte integral del proceso de diseño, el consultor debe redactar y entregar a la persona prestadora del servicio público de acueducto el manual de operaciones de la estación de bombeo, en el cual queden establecidas las diferentes formas de operar la estación, incluyendo las siguientes:

1. Operación normal en el momento de entrada en operación.
2. Operación normal para las condiciones al final del periodo de diseño.
3. Operación bajo condiciones de emergencia.
4. Operación bajo condiciones especiales de mantenimiento.

Otras condiciones especiales de operación que hayan sido especificadas por la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio en los pliegos para la licitación del diseño.

### 8.5.14 Uso de tecnologías de información para el diseño de estaciones de bombeo

En el diseño de las estaciones de bombeo y de sus tuberías de succión e impulsión se debe utilizar tecnologías de información en los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, y se recomienda en los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, siguiendo los siguientes requerimientos:

1. El diseño de las estaciones de bombeo y de sus tuberías de succión e impulsión debe realizarse sobre un programa de modelación hidráulica, que use el método del gradiente o un método equivalente para el cálculo de tuberías simples, en caso que la tubería de impulsión sea única entre el tanque de succión y el tanque de descarga. El diseño se hace mediante rutinas de optimización. En caso que se cuente con un programa exclusivo para el diseño de bombas y estaciones de bombeo, éste puede utilizarse teniendo en cuenta las ecuaciones hidráulicas definidas en el literal B.6.5.4 de este Título.
2. El diseño dentro del programa de modelación hidráulica debe partir de la información planimétrica y altimétrica de la zona de interés. En caso que ésta no exista, que se realicen nuevos levantamientos, o si se actualiza la existente, la información debe presentarse en formatos compatibles con el Sistema de Información Geográfica y las bases de datos de las personas prestadoras del servicio público de acueducto.
3. El diseño debe tener en cuenta la información de potencia de las bombas, eficiencia de las bombas, curvas de las bombas, altura estática entre los tanques de almacenamiento aguas arriba y aguas abajo, curva de demanda, capacidad de energía eléctrica de la zona, etc., proveniente de las bases de datos de las personas prestadoras del servicio. Si esta información no se encuentra disponible o está desactualizada y se realizan nuevos estudios, ésta se debe presentar en formatos compatibles con las bases de datos de las personas prestadoras del servicio.

## 8.6 Referenciación de las estaciones de bombeo

La referenciación de las bombas, tuberías y sus accesorios se debe hacer con respecto a los puntos fijos exteriores más cercanos y preferiblemente a los paramentos definitivos.

En el caso de la referenciación de las bombas, se deben anotar los siguientes datos: material, tipo, marca, clase, diámetro de la tubería de succión, diámetro de la tubería de impulsión, potencia de la bomba, potencia de motores, fecha de instalación, estado y fecha de revisión.

En el caso particular de las tuberías, el diseño debe referenciar la localización de todas las uniones, o al menos aquellas que permitan determinar la posición de las otras. Esta información es valiosa para las actividades de mantenimiento normal o bajo situaciones de emergencia.

## 8.7 Aspectos de la puesta en marcha

Una vez que la estación de bombeo diseñada haya finalizado su etapa de construcción, la persona prestadora del servicio público de acueducto debe asegurar la realización, por parte del constructor, de las pruebas descritas en los literales B.8.7.1 a B.8.7.7 de este Título. La empresa debe asegurar antes de que el sistema entre en operación definitiva que todas las pruebas estén de acuerdo con el protocolo de pruebas establecido por el consultor que diseñó la estación de bombeo tal como se mencionó en el literal B.8.5.12.

### 8.7.1 Inspecciones preliminares

El diseño de la estación de bombeo debe indicar el tipo de inspecciones preliminares que deben realizarse a la estación de bombeo una vez ésta haya sido construida. Las inspecciones preliminares deben incluir entre otras, las siguientes:

1. Verificación que el sentido de giro del motor sea correcto.
2. Verificación de todas las instalaciones eléctricas con sus conexiones y aislamientos.
3. Verificación del correcto funcionamiento de válvulas y accesorios en su apertura y cierre. Esta verificación debe realizarse antes del montaje final de dichos accesorios en la estación de bombeo. En particular debe medirse el tiempo de accionamiento y corregirse el mecanismo, en caso de requerir de grandes esfuerzos para la operación de las válvulas.
4. Correcto funcionamiento de interruptores, arrancadores, sensores y demás elementos de control, en especial si estos son de accionamiento automático.
5. Aseguramiento de la perfecta alineación de los ejes motor-bomba.
6. Aseguramiento de que los motores y las válvulas estén perfectamente lubricados. Verificación de la calidad y cantidad del aceite lubricante.
7. Verificación de los niveles de ruido, según lo descrito en el literal B.8.4.12 de este Título.

## 8.7.2 Pruebas preliminares

Además de las pruebas realizadas y detalladas en el protocolo de pruebas preparado por el consultor, una vez que la estación de bombeo haya finalizado su proceso de construcción, deben realizarse unas pruebas preliminares de bombeo en las condiciones normales y críticas de operación, con el fin de detectar posibles errores y tomar las medidas correctivas, antes de dar la estación de bombeo a disposición del sistema de acueducto.

El constructor debe realizar estas pruebas, tomando registros de los datos de los cuales se exija medición y presentar un informe de la prueba ante la SSPD, el cual debe contener el resultado de los ensayos realizados y las condiciones anormales encontradas.

En caso de encontrar anomalías en el funcionamiento o condiciones de operación diferentes a las previstas en el diseño, deben tomarse las medidas correctivas que sean necesarias antes de colocar la estación al servicio del sistema de acueducto.

Las pruebas preliminares deben llevarse a cabo de acuerdo con los siguientes requisitos:

### 8.7.2.1 Pozo de succión

En caso que en la estación de bombeo exista un pozo de succión, debe realizarse una prueba hidrostática con el nivel máximo posible, con el fin de detectar fugas y verificar el comportamiento estructural del pozo. Una vez en operación debe observarse la forma de las líneas de corriente de flujo a la entrada, asegurándose de que no ocurran zonas de alta turbulencia y que la entrada a las tuberías de succión sea uniforme en todas las unidades de bombeo, sin presentar vorticidad.

### 8.7.2.2 Bombas y motores

Para la primera inspección del comportamiento de las bombas, deben tenerse en cuenta las siguientes disposiciones:

1. Para cada bomba individual debe observarse las condiciones de circulación del agua y la posible vorticidad en el pozo de succión. Debe prestarse especial atención a la posible entrada de aire a la tubería de succión.
2. Debe medirse el número de revoluciones por minuto, la presión en las líneas de succión y descarga, la presión y temperatura del aceite, y calcularse las alturas netas de succión positiva requerida y disponible (NPSH) con el fin de asegurar que no ocurra el fenómeno de cavitación.
3. Deben verificarse los niveles de ruido y vibración de los equipos electromecánicos.
4. En el caso de motores diesel, deben estimarse los tiempos de arranque.

5. Debe obtenerse el punto de operación de la estación de bombeo, midiendo el caudal total a la salida de una unidad de bombeo y la altura dinámica total suministrada, con el fin de verificar que la bomba se encuentre operando en o cerca de su nivel de máxima eficiencia.

### 8.7.2.3 Dispositivos de control

Una vez concluida la construcción de la estación de bombeo, debe asegurarse un normal funcionamiento de los equipos de medición, de control y de transmisión de datos. En especial debe observarse el comportamiento de manómetros, sensores, flotadores, indicadores de nivel y demás dispositivos de control.

## 8.7.3 Pruebas hidrostáticas para tuberías de impulsión

Una vez finalizada la instalación de la tubería de impulsión, y siguiendo el protocolo de pruebas establecido por el diseño, ésta debe presurizarse hasta el nivel máximo de la presión dinámica que va a soportar durante su vida útil, con el fin de verificar su estanqueidad y si existen problemas en las uniones, las juntas, los accesorios, etc. Igualmente debe verificarse el correcto funcionamiento de los anclajes, de acuerdo con el protocolo de pruebas.

### 8.7.4 Medición de caudales

Una vez finalizadas las pruebas hidrostáticas de la tubería de impulsión deben verificarse los caudales de operación incluyendo el caudal máximo. Para verificar dichos caudales deben aforarse tanto el caudal de entrada como el caudal de salida de la tubería de impulsión. El consultor, dentro del protocolo de pruebas, debe establecer el tipo de aparatos de medición, su precisión y el nivel de duración de la prueba.

## 8.7.5 Línea piezométrica de la tubería de impulsión

Con el fin de verificar lo establecido por el diseño, y siguiendo el protocolo de pruebas dado por el consultor, debe medirse la altura piezométrica en diferentes puntos de la tubería de impulsión para diferentes condiciones de caudal, incluyendo tanto el caudal mínimo como el caudal máximo. Para verificar la altura piezométrica se debe poner especial cuidado en aquellos puntos de la tubería de impulsión donde haya cambios de dirección, tanto verticales como horizontales. Los datos registrados deben ser almacenados en el sistema de información de la persona prestadora del servicio público de acueducto, con el fin de ser comparados con aquellos obtenidos a lo largo del período de diseño del proyecto durante su operación normal.

## 8.7.6 Golpe de Ariete

Teniendo en cuenta lo establecido por el consultor con respecto al golpe de ariete según lo descrito en el literal B.8.5.7 de este Título, debe medirse la condición normal de operación que produzca las mayores sobre-presiones y la condición normal de operación que produzca las menores subpresiones, con el fin de realizar una prueba de golpe de ariete. Esta prueba debe simular la condición normal de operación establecida en los protocolos de prueba y la presión debe medirse en aquellos puntos, que de acuerdo con el diseño, presentan las máximas sobre-elevaciones de presión y las mínimas subpresiones. Estos datos deben conservarse en el sistema de información de la persona prestadora del servicio público de acueducto, con el fin de comparar con los datos que se obtengan durante todo el período de operación normal de la red.

## 8.7.7 Accesorios y Válvulas

Una vez finalizada la construcción e instalación de los componentes de la estación de bombeo, se debe verificar la estanqueidad de cada uno de los accesorios.

### 8.7.7.1 Válvulas de cheque o de retención

Para este tipo de válvulas se debe verificar que no haya contraflujos que ocasionen daños en las bombas o posibles aplastamientos de las tuberías. Las válvulas de cheque deben cumplir con las Normas Técnicas Colombianas correspondientes o en su defecto con las Normas AWWA C508 y AWWA C510.

En el caso de utilizar aleaciones de cobre como material de fabricación de estas válvulas, debe cumplirse con la Norma Técnica Colombiana NTC 1762.

### 8.7.7.2 Ventosas

En todas las ventosas deben realizarse las pruebas correspondientes, establecidas en el protocolo de pruebas, que aseguren su correcto funcionamiento para las diferentes condiciones normales de operación establecidas por el diseño. En particular debe cumplirse con la Norma Técnica AWWA C512.

## 8.8 Aspectos de la operación

Para el caso de las estaciones de bombeo, desde la etapa de diseño se debe establecer en un manual de operaciones los siguientes aspectos operativos con el fin de asegurar el correcto funcionamiento hidráulico para las diferentes condiciones de operación normal y/o de emergencia que puedan ocurrir a lo largo de la vida útil del proyecto.

El diseño de la estación de bombeo debe asegurar que durante la operación se pueda cumplir con los requisitos mínimos mostrados a continuación:

1. El funcionamiento de la estación de bombeo debe ser verificado permanentemente por al menos un técnico preparado para supervisar la operación y realizar las acciones correctivas o de suspensión del servicio, en caso que se presente cualquier situación anormal.
2. En los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, el accionamiento de las bombas, debe ser automático utilizando sensores de nivel en los pozos de succión y en los tanques de descarga, de forma tal que se apaguen las bombas, en caso que los niveles de agua impidan el normal funcionamiento del sistema de bombeo.
3. Todos los dispositivos de medición y control deben dar indicaciones visuales y sonoras de una situación potencial de peligro.
4. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, los parámetros que deben ser permanentemente medidos en la estación de bombeo, y deben ser enviados a la sala de control para tener un registro que se puede tener a disposición de la SSPD, deben incluir por lo menos los siguientes:
  - a) Caudal total de la estación.
  - b) Caudal por cada una de las bombas individuales.
  - c) Presión en las líneas de succión de cada unidad de bombeo.
  - d) Presión en cada una de las líneas de impulsión.
  - e) Nivel del agua en el pozo de succión.
  - f) Nivel del agua en el tanque de descarga.
  - g) Niveles de ruido y vibración.

### 8.8.1 Mediciones de caudal

Durante todo el período de proyección del proyecto debe medirse en forma continua el caudal de bombeo, guardando los registros en una base de datos que permita establecer el balance de agua en la línea de impulsión y en la distribución aguas abajo de ésta. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto las mediciones de caudal se deben realizar por medio de telemetría, para lo cual el diseño debe establecer claramente el punto de medición, los instrumentos a ser utilizados, la frecuencia de toma de datos de caudales y el nivel de precisión de las medidas. Estos registros deben guardarse en la base de datos de la persona prestadora del servicio público de acueducto, los cuales servirán como insumo de los modelos hidráulicos del sistema de acueducto.

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto debe verificarse que la capacidad de los medidores de velocidad y caudal cubra todo el rango de velocidades que puedan presentarse en la tubería, tanto bajo condiciones normales de operación como bajo condiciones de emergencia.

## 8.8.2 Línea piezométrica

Durante todo el período de proyección del proyecto debe realizarse una revisión continua de la línea piezométrica o línea de gradiente hidráulico a lo largo de todas las tuberías de impulsión. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto la medición de la línea piezométrica se debe realizar por medio de telemetría, el diseño debe establecer en forma clara los puntos de medición, los instrumentos a ser utilizados, la frecuencia de medición y la precisión de éstas. Estos registros deben guardarse en la base de datos de la persona prestadora del servicio público de acueducto, los cuales servirán como insumo de los modelos hidráulicos del sistema de acueducto.

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto se deben considerar los siguientes aspectos para realizar las mediciones de la línea piezométrica:

1. En todos los puntos de la línea de impulsión en los cuales exista instrumentación telemétrica, establecida en el diseño, debe verificarse que la precisión de los instrumentos en el momento de entrar en operación esté dentro del rango  $\pm 1\%$ . Adicionalmente, debe verificarse su correcta instalación en los diferentes puntos de la tubería, en forma permanente a lo largo del período de diseño del proyecto.
2. En el caso específico de los sensores o transductores de presión, debe verificarse que la capacidad de éstos cubra todo el rango de presiones que pueda presentarse en la línea de impulsión, tanto bajo condiciones normales de operación como bajo condiciones de emergencia, en particular las sobrepresiones y subpresiones ocasionadas por los casos de flujo no permanente.

## 8.8.3 Punto de operación de la bomba

Con los datos de caudal y de altura piezométricas medidos, se debe verificar en forma continua el punto de operación de las bombas, con el fin de asegurar que se esté operando en los puntos de eficiencia máxima dados por el diseño. El consultor debe establecer el rango de precisión de estas medidas por fuera del cual se requiera una revisión del estado de bombas y de los demás equipos electromecánicos de la estación de bombeo.

## 8.8.4 Golpe de Ariete

Durante la operación normal del sistema de bombeo, se debe medir en las tuberías de impulsión la sobrepresión y subpresión generadas bajo condiciones de flujo no permanente, anotando en forma específica la forma de operación de las válvulas y bombas. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto las mediciones se deben realizar por medio de telemetría, para lo cual el diseño

debe establecer en forma clara los puntos de medición, los aparatos de medición, la frecuencia de toma de datos y el nivel de precisión. Estos registros deben guardarse en la base de datos de la persona prestadora del servicio público de acueducto, los cuales servirán como insumo de los modelos hidráulicos del sistema de acueducto.

## 8.8.5 Uso de tecnologías de información para la operación

Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, la operación de las bombas y de las tuberías de impulsión se debe modelar en un programa de modelación hidráulica de redes, basado en el método del gradiente. Dicho modelo debe tener en cuenta la altimetría, planimetría, altura estática entre los tanques aguas arriba y aguas abajo y las demandas. La topología del modelo debe representar de manera precisa la condición actual de la red. La operación del sistema se debe modelar sobre un modelo hidráulico calibrado para representar el comportamiento real de la red. Por consiguiente, el modelo hidráulico utilizado debe contar con rutinas de calibración.

# 8.9 Aspectos de mantenimiento

Para el mantenimiento de las estaciones de bombeo el diseño debe tener en cuenta los aspectos mostrados en los literales B.8.9.1 a B.8.9.8. En aquellos municipios correspondientes a los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, en los que existan sistemas de gestión de calidad, se podrá seguir lo establecido por la correspondiente persona prestadora del servicio público de acueducto. Sin embargo, cuando los aspectos de mantenimiento no se encuentren específicamente detallados para zonas del municipio que formen parte de dicho sistema, se recomienda la aplicación de los siguientes literales.

## 8.9.1 Aspectos Generales

El diseño debe incluir la posibilidad de accesos que permitan hacer mantenimiento mediante cepillos metálicos al interior de la tubería para mantener la eficiencia del bombeo, el diseño de la estación de bombeo también debe incluir aquellos aspectos de mantenimiento que deben llevarse a cabo en el momento en que se detecte pérdida de eficiencia en el bombeo. El diseño debe establecer el nivel de eficiencia para el cual se debe iniciar el proceso de mantenimiento de la bomba o la estación de bombeo, con el fin de volver a colocar el equipo en su nivel de máxima eficiencia.

Todos los elementos que formen parte de la estación de bombeo deben tener programas de mantenimiento. Las labores de mantenimiento deben ser

siempre de tipo preventivo. Para esto, en los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto el diseño debe considerar las rutinas de mantenimiento desde la época de concepción del proyecto y debe permitir, en todo caso, el normal funcionamiento de la estación sin interrupciones en el servicio.

## 8.9.2 Manual de mantenimiento

El manual de mantenimiento de las estaciones de bombeo debe incluir un programa rutinario de labores de inspección, mantenimiento y reparación, determinando una serie de actividades diarias, semanales, mensuales y anuales, Para todos los niveles de complejidad del sistema, la persona prestadora del servicio público de acueducto debe elaborar y mantener actualizado el manual de mantenimiento de las estaciones de bombeo en el que se debe incluir como mínimo lo establecido en los siguientes literales.

## 8.9.3 Mantenimiento preventivo

### 8.9.3.1 Mantenimiento en el pozo de succión

En el caso del pozo de succión, si éste existe, se debe hacer limpieza y verificación de filtraciones, por lo menos una vez cada año en los niveles de complejidad del sistema medio y bajo y por lo menos una vez cada seis meses en los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto. Se debe tener cuidado en el mantenimiento tanto de los tanques alimentadores, como en las bombas, para evitar que ingresen agentes contaminantes al sistema.

### 8.9.3.2 Mantenimiento en los equipos de bombeo

En los equipos de bombeo se deben realizar las siguientes labores de mantenimiento preventivo:

1. Como actividad diaria debe realizarse una inspección general a los equipos de bombeo, el tablero de control y los niveles del agua. De igual forma, debe prestarse especial atención a las condiciones de operación, tales como cantidad de ruido y vibración.
2. Con una frecuencia de un mes como mínimo, debe realizarse limpieza de los equipos de bombeo, verificación de la calidad del aceite de los motores y de las instalaciones eléctricas.
3. Con una frecuencia de una vez cada año, o menor, debe realizarse alineación de los motores de las bombas y verificación del estado de las protecciones eléctricas.

### 8.9.3.3 Mantenimiento en los accesorios

Para el caso de los accesorios que formen parte de la estación de bombeo, se requieren las siguientes labores de mantenimiento: en el caso de las

válvulas, debe verificarse el estado, la apertura, el cierre de válvulas, etc. al menos una vez cada mes. Debe verificarse el funcionamiento y operación de las válvulas de cheque por lo menos cada seis meses.

En todo caso el mantenimiento de válvulas y accesorios debe realizarse teniendo en cuenta las normas técnicas respectivas.

#### 8.9.3.4 Mantenimiento en los equipos eléctricos

Con respecto a los equipos eléctricos que forman parte de la estación, el mantenimiento debe realizarse de acuerdo con los manuales de mantenimiento elaborados por cada empresa, los cuales deben basarse en lo establecido en el código eléctrico colombiano (Norma Técnica Colombiana NTC 2050) y los manuales de operación y mantenimiento de los fabricantes de los equipos eléctricos.

#### 8.9.4 Mantenimiento correctivo

Deben tomarse las medidas correctivas necesarias en caso de encontrar anomalías en cualquiera de los elementos de la estación. En el nivel de complejidad del sistema bajo, el programa de mantenimiento debe incluir labores de carácter correctivo.

#### 8.9.5 Registro de mantenimientos

Siempre que las personas prestadoras del servicio hagan labores de mantenimiento en las estaciones de bombeo y en las tuberías de succión e impulsión, deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. Es obligatorio anotar la fecha del daño, el tipo de daño ocurrido, la causa del daño, los repuestos utilizados y los procedimientos de reparación, cuando se trate de enfrentar una situación de emergencia.
2. En el caso de mantenimientos preventivos, tanto de las líneas de tuberías como del equipo electromecánico, es obligatorio anotar la fecha del mantenimiento, el tipo de mantenimiento, los repuestos utilizados y los procedimientos desarrollados durante las labores de mantenimiento.
3. Las personas prestadoras del servicio deben tener una base de datos con los registro históricos de los daños ocurridos en la estación de bombeo y las tuberías, así como de los mantenimientos preventivos que se hagan en ésta.

#### 8.9.6 Disponibilidad de repuestos

En el nivel de complejidad del sistema alto debe existir disponibilidad y/o adquisición inmediata de todos los insumos necesarios para reparación y mantenimiento.

En el nivel de complejidad del sistema medio debe existir disponibilidad y/o adquisición de los insumos para la reparación de cualquier elemento en 48 horas como máximo. Si la inexistencia del insumo requerido implica una suspensión forzosa del servicio en parte de la estación, la adquisición debe realizarse en un máximo de 24 horas.

En los niveles de complejidad del sistema medio y bajo debe existir disponibilidad y/o adquisición de los insumos para la reparación de cualquier elemento en 72 horas como máximo. Si la inexistencia del insumo requerido implica una suspensión forzosa del servicio en parte de la estación, la adquisición debe realizarse en un máximo de 24 horas.

## 8.9.7 Suspensión del servicio por mantenimiento programado

En caso que por un mantenimiento sea necesario suspender el servicio, éste debe limitarse a un período máximo de 12 horas en las zonas afectadas del municipio para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto y un período máximo de 24 horas en los niveles de complejidad del sistema medio y bajo. La persona prestadora del servicio público de acueducto debe informar a la comunidad sobre los horarios y cortes programados en el suministro de agua.

En los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto se debe hacer uso de los modelos hidráulicos del sistema y del Catastro de Suscriptores para establecer aquellos suscriptores que pueden ser afectados por la suspensión del servicio o por bajas temporales en la presión del suministro de agua potable.

## 8.9.8 Uso de tecnologías de información para labores de mantenimiento

En los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, las operaciones de mantenimiento se deben apoyar en un modelo hidráulico calibrado con el fin de dimensionar el impacto de las acciones de intervención sobre la estación de bombeo y las tuberías de succión e impulsión. De esta manera, si se planea realizar cierres en la red, éstos deben ser modelados para entender el comportamiento y el impacto de la acción a realizar.

En el nivel de complejidad del sistema alto, las intervenciones en campo deben estar apoyadas por sistemas de posicionamiento global (GPS), de manera que se permita una rápida actualización de cualquier cambio de la red sobre la cartografía digital de la zona. En caso que existan cambios en esta información, ésta debe ser modificada en los sistemas de información geográfica de las personas prestadoras del servicio.

## TÍTULO B

### TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y COMPENSACIÓN

# **9. TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y COMPENSACIÓN**

Los tanques de almacenamiento y compensación son depósitos de agua que tienen la función de almacenar agua y compensar las variaciones que existen entre el caudal de entrada al tanque y el consumo normal de los suscriptores a lo largo del día. El objetivo primordial de los tanques de compensación es cubrir las necesidades de la demanda de agua en los momentos picos, permitiendo una recuperación del volumen en las horas de bajo consumo para poder suministrar, sin problema, el agua demandada en las horas de máximo consumo. Por otro lado, los tanques de almacenamiento, además de cumplir con la función de compensación, tienen el objetivo de almacenar agua para seguir cubriendo la demanda durante un cierto período de tiempo en caso de alguna falla en la red matriz. Dentro de este tipo de tanques se incluyen aquellos que se encuentran a la salida de las plantas de tratamiento de agua potable.

En el caso de acueductos correspondientes al nivel de complejidad del sistema alto, únicamente, se puede hacer uso de tanques de compensación cuando en las zonas periféricas de la ciudad se tengan bombeos contra la red. En este caso al final del bombeo se debe colocar un tanque de compensación sin almacenamiento. De todas formas, para hacer uso de esta alternativa se debe contar con el permiso expreso de la persona prestadora del servicio público de acueducto.

## **9.1 Alcance**

El objetivo de este literal es indicar los requisitos mínimos y las condiciones básicas que deben cumplir los tanques de almacenamiento y compensación que se diseñen y construyan como parte un sistema de acueducto, indicando aspectos relativos a los estudios previos, el diseño, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento, incluidas sus obras anexas y complementarias.

En este capítulo se tratan únicamente los aspectos relacionados con el funcionamiento hidráulico del tanque. Los aspectos de diseño estructural y de construcción son tratados en el Título G del RAS: “Aspectos complementarios”.

Las disposiciones establecidas en este capítulo deben cumplirse para los cuatro niveles de complejidad del sistema, a menos que se indique lo contrario.

## **9.2 Estudios previos**

El consultor debe efectuar los estudios básicos antes de llevar a cabo el diseño del tanque, con el fin de determinar las condiciones esenciales de diseño,

las necesidades de almacenamiento en el tanque, la relación dentro de un sistema de acueducto, la capacidad y los criterios de operación.

### 9.2.1 Concepción del proyecto

El consultor de un tanque de almacenamiento debe establecer las necesidades de demanda y las variaciones de consumo a lo largo del día, de la red de distribución de agua potable inmediatamente aguas abajo del tanque, con el fin de definir la magnitud del volumen requerido. Así mismo, debe tener en cuenta las zonas de presión en dicha red de distribución con la magnitud de presiones máximas y mínimas, con el fin de fijar la cota del tanque para mantener los valores establecidos en ellas.

Las funciones que debe cumplir un tanque de almacenamiento son las siguientes:

1. Suministrar agua potable a los consumidores en la cantidad y calidad necesaria, incluyendo la variación de la demanda a lo largo del día.
2. Suministrar suficiente agua en caso de ocurrir situaciones de emergencia, tales como incendio, daños en la red de conducciones, daños en las estaciones de bombeo, operaciones de mantenimiento especiales, operaciones de emergencia causadas por estallidos de tuberías, etc.
3. Compensar las variaciones de los consumos que se producen durante el día.

Para el nivel de complejidad del sistema alto, en aquellos casos en que se trate del diseño de un tanque de almacenamiento y/o compensación, es obligación del consultor conocer las zonas de presión de la red de distribución conectada a dicho tanque, las características de la presión en la conducción aguas arriba del tanque y el caudal máximo horario de consumo. Un tanque de compensación se considera necesario únicamente para los siguientes casos:

1. Cuando en el nivel de complejidad del sistema alto se tenga una red de distribución alimentada directamente por una estación de bombeo, con el fin de mantener presiones uniformes para todos los puntos de la curva de consumo de agua, en cuyo caso el tanque se debe ubicar aguas abajo del último nodo de consumo de la red.
2. El uso de los tanques de compensación debe limitarse únicamente a situaciones especiales, previamente aprobadas por la persona prestadora del servicio público de acueducto en un municipio con nivel de complejidad del sistema alto, ya que para condiciones normales de abastecimiento de agua de una red de distribución se debe contar con tanques de almacenamiento.

El consultor debe conocer los siguientes puntos en la etapa de conceptualización de los tanques:

1. La curva de variación horaria de la demanda del sistema de distribución.
2. El volumen total necesario de agua para cada zona de presión.
3. La localización en planta de los tanques y de toda la infraestructura del sistema de acueducto existente.
4. El número de módulos del tanque y la definición de las etapas de ejecución para la construcción.
5. Cotas de los niveles de agua.
6. Cota de rebose del tanque.
7. Funcionamiento de otros componentes del sistema de acueducto, tales como estaciones de bombeo conectadas o que envíen agua a los tanques, la red de distribución, estaciones reguladoras de presión u otros tanques existentes.

Los tanques deben diseñarse con todas las estructuras y facilidades necesarias para garantizar su lavado durante la operación normal. Estas estructuras deben incluir, entre otros aspectos, las válvulas necesarias (Ver literal B.9.6.6), las estructuras de disipación de energía y las estructuras de entrega a los cuerpos receptores o al sistema de alcantarillado.

## 9.2.2 Infraestructura existente

Para el diseño de un tanque nuevo deben identificarse las principales obras de infraestructura construidas y proyectadas dentro de su zona de influencia, tales como calles, avenidas, puentes, vías de transporte urbano masivo, líneas de transmisión de energía eléctrica, sistema de alcantarillado y cualquier otra obra de infraestructura existente.

## 9.2.3 Estudio de la demanda de agua

Con el fin de llevar a cabo el diseño de tanques nuevos, se debe conocer el estudio de la demanda realizado por la persona prestadora del servicio público de acueducto para la zona del municipio en la cual se va a instalar el tanque. En caso que no exista información sobre la demanda de agua, ésta se debe conseguir llevando a cabo un estudio de acuerdo con lo establecido en el capítulo B.2 de este Título, con el fin de determinar la capacidad actual y futura del tanque, a fin de abastecer la red de distribución de agua potable hacia aguas abajo del tanque.

## 9.2.4 Curvas de demanda horaria

Para el caso de tanques existentes, las curvas de demanda horaria deben ser obtenidas por el consultor haciendo uso de la información histórica existente en la persona prestadora del servicio público de acueducto y de las

curvas de demanda que existan para los diferentes sectores del municipio. Para el nivel de complejidad del sistema alto, se debe hacer uso de la información histórica de los sistemas de adquisición remota de datos.

Para el caso de diseño de un tanque nuevo, conectado a una red de distribución de agua potable nueva, el consultor podrá hacer uso de la información referente a la curva de demanda de agua existente en un sector cercano al del proyecto. Sin embargo, debe tener en cuenta que podrían existir variaciones con respecto al caudal máximo y al caudal mínimo. El uso de curvas de demanda de circuitos cercanos al del proyecto debe contar con la aprobación previa de la persona prestadora del servicio público de acueducto.

Para el nivel de complejidad del sistema bajo los datos para elaborar las curvas de demandas horarias de cada población o zona abastecida pueden pertenecer al municipio bajo estudio o a un municipio que presente características semejantes, en términos de nivel socioeconómico, de costumbres y de clima.

## 9.2.5 Aspectos generales de la zona

El consultor debe conocer todos los aspectos generales de la zona del municipio en la que se desarrollará el tanque. Como mínimo el consultor encargado del diseño de los tanques de almacenamiento y/o compensación debe conocer la siguiente información referente a los aspectos generales de la zona:

1. El uso del suelo y la distribución urbanística de la zona cercana al tanque.
2. Las áreas en donde el desarrollo urbano no esté permitido por el POT.
3. Los proyectos de infraestructura por construir como edificaciones cercanas, vías, redes de acueducto y otras redes de servicios públicos.
4. Posibles megaproyectos con el municipio, planeación y diferentes personas de servicios públicos.
5. Regímenes de propiedad de los terrenos donde se proyecta el tanque; si son propiedad privada, del Estado, departamento o el municipio.
6. Sistema de drenaje natural en la zona, cauces, quebradas, etc.
7. El levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico de la zona del municipio objeto del diseño.
8. El perímetro urbano del municipio.
9. Afectación del medio ambiente por el proyecto.

## 9.2.6 Estudios topográficos

El consultor debe contar con toda la información topográfica del área del tanque. Entre otros aspectos, esta información debe incluir los planos a escala

1:200 o más detallada. En todos los casos se deben hacer levantamientos en campo, con propósitos de verificación. Para el nivel de complejidad del sistema alto, además de lo anterior, el consultor debe recopilar o realizar entre otra, la siguiente información topográfica:

- Fotografías aéreas de la zona del municipio objeto del diseño, que incluyan claramente la zona donde va a diseñarse el tanque de almacenamiento y/o compensación.
- Los planos de catastro de instalaciones de sistemas de infraestructura, tales como carreteras, calles, avenidas, líneas de transmisión de energía eléctrica, industrias, etc.

El plano topográfico de la zona cercana al tanque objeto del diseño debe incluir curvas de nivel cada metro.

## 9.2.7 Condiciones geológicas

El consultor debe conocer todas las condiciones geológicas y las características del subsuelo en aquellas zonas donde se esté proyectando la construcción de un tanque nuevo. Mediante el uso de planos geológicos, deben identificarse las zonas de falla, de deslizamiento, de inundación y en general todas aquellas zonas que presenten algún problema causado por aspectos geológicos, a partir de planos de microzonificación sísmica existentes o de información geológica encontrada en las oficinas de planeación municipal. Se debe evitar alternativas de diseño de tanques en zonas claramente identificadas como zonas de deslizamiento.

En todos los casos, deben realizarse exploraciones y perforaciones in situ para profundizar en el conocimiento de las condiciones geológicas y geotécnicas. Además debe conocerse el nivel freático en la zona y sus fluctuaciones y considerar el efecto de flotación sobre el tanque cuando éste se encuentre vacío. El consultor debe conocer específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona donde se está proyectando el tanque. En particular debe tenerse en cuenta lo establecido en la Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, o la norma que la modifique, adicione o sustituya, con respecto a los niveles de amenaza sísmica de las diferentes zonas del municipio objeto del diseño.

## 9.2.8 Estudio de suelos

Para el diseño de un tanque de almacenamiento y/o compensación se debe seguir lo establecido en el capítulo G.2 del Título G del RAS: "Aspectos geotécnicos". En todo caso se debe considerar la participación de un especialista en geotecnia que indique aquellos estudios adicionales a los mínimos establecidos por este documento.

Adicionalmente, el consultor debe recopilar toda la información sobre sondeos de suelos que existan en la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio.

## 9.2.9 Otros estudios previos

El diseño de los tanques de almacenamiento y/o compensación también debe incluir la consecución de estudios previos ya realizados en el municipio o el desarrollo de los siguientes estudios previos:

1. Disponibilidad de la energía eléctrica en las posibles alternativas de localización de los tanques.
2. Calidad de agua de llegada al tanque, a través de la conducción, en aquellas condiciones de caudal que produzcan los menores niveles en los parámetros de calidad del agua en la llegada al tanque.
3. Condiciones especiales de operación así como mantenimientos especiales y lavados de conducciones de la red de conducción que alimenta al tanque y que puedan tener impacto sobre su operación normal.
4. Las características de la red de alcantarillado y de los cuerpos de drenaje urbano en zonas cercanas al tanque objeto del diseño, con el fin de garantizar la capacidad mínima para recibir las aguas en caso del lavado de los tanques y reboses.

## 9.3 Condiciones generales

### 9.3.1 Tipo de tanque

Dependiendo de su ubicación sobre el terreno, los tanques de almacenamiento y/o compensación se clasifican en:

#### 9.3.1.1 Tanques enterrados

Estos tanques se encuentran situados en su totalidad bajo el nivel del suelo. Su uso es recomendable cuando la topografía del terreno permite garantizar la presión mínima requerida en todos los puntos de la red de distribución. Dentro de las desventajas de este tipo de tanques se encuentran la necesidad de realizar grandes excavaciones para el tanque y demás instalaciones, además de la dificultad para el control de posibles filtraciones.

#### 9.3.1.2 Tanques semienterrados

Son los tanques que tienen parte de su estructura bajo el nivel del terreno en que se encuentra ubicado. Se emplean generalmente cuando la altura topográfica respecto al punto de alimentación es suficiente y el terreno presenta dificultad de excavación.

### 9.3.1.3 Tanques superficiales

Los tanques superficiales están construidos sobre la superficie del terreno. El empleo de este tipo de tanque es común cuando el terreno es de difícil excavación o conviene no perder altura y existe la topografía adecuada.

### 9.3.1.4 Tanques elevados

Los tanques elevados son aquellos cuya base está por encima del nivel del suelo y se encuentran apoyados sobre una estructura de soporte. Se emplean principalmente en poblaciones con topografía plana donde no existen en sus proximidades elevaciones naturales con altimetría apropiada. En el diseño de este tipo de tanques se debe considerar el aspecto estético y su integración al entorno o paisaje dada su visibilidad desde lugares distantes. Los tanques elevados deben señalizarse e iluminarse de acuerdo con los requerimientos de la Aeronáutica Civil en caso que estos se encuentren localizados en zonas de servidumbre de aeropuertos o que por su altura constituyan un peligro para la navegación aérea.

Para el diseño estructural y la construcción de los tanques de almacenamiento y/o compensación debe seguirse todo lo establecido en el literal B.9.6.9 de este Título y en el capítulo C.20 de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 o la norma que la modifique, adicione o sustituya.

En el caso de este tipo de tanques se debe hacer un estudio de optimización económica a fin de decidir si todo el volumen de almacenamiento se coloca en forma elevada o si se combina un tanque elevado más pequeño acompañado con un tanque enterrado, semienterrado o superficial en su base.

## 9.3.2 Forma del tanque

En general, no existe limitación alguna en cuanto a la elección de la forma del tanque; ésta debe establecerse de acuerdo con casos particulares y las modalidades de tanques regionales. En cambio, siempre se debe garantizar la seguridad, la durabilidad y el cumplimiento de las condiciones sanitarias requeridas para el agua potable. Todos los tanques deben estar cubiertos.

La forma del tanque debe proporcionar una máxima economía global en términos de cimentación, estructura, utilización del lote donde se coloca el tanque, equipos de operación y control e integración entre las diferentes unidades que conforman el sistema de abastecimiento de agua potable. Adicionalmente, la forma del tanque debe garantizar una correcta operación hidráulica de la red de distribución de agua potable aguas abajo de este, incluyendo aspectos de calidad de agua. Por consiguiente, la forma del tanque debe evitar la formación de zonas muertas dentro de éste que impliquen el deterioro en la calidad el agua potable.

### 9.3.3 Localización de los tanques

Para ubicar los tanques de almacenamiento y/o compensación dentro del sistema de distribución de agua potable, el diseño debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. En lo posible, los tanques de compensación y/o almacenamiento no deben estar enterrados.
2. Los tanques deben localizarse lo más cerca posible de la red de distribución partiendo de los puntos altos de la población y asegurando el mantenimiento de presiones adecuadas.
3. El área para la localización del tanque no podrá situarse en zonas que presenten concentraciones de drenajes naturales de aguas lluvias o que sean susceptibles a inundaciones.
4. Los tanques de almacenamiento y/o compensación no deben situarse en la corona de un talud, ni sobre rellenos, salvo con una recomendación explícita de los estudios de suelos y de estructuras.
5. En caso que exista la posibilidad del paso de aguas lluvias en la cercanía del tanque, deben evitarse infiltraciones hacia el interior de éste.
6. Si el tanque es enterrado o semienterrado, debe estar alejado de cualquier fuente de contaminación posible, tales como depósitos de basura, líneas de alcantarillado, pozos sépticos, etc.; en todos los casos el tanque debe tener cubierta.
7. Si el tanque es metálico, debe localizarse en zonas donde se minimice el riesgo de corrosión. Este tipo de tanques deben tener ánodos de sacrificio diseñados por el fabricante. Dentro de las recomendaciones de uso, debe quedar clara su duración y la forma de reemplazo de los ánodos.

Para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, al elegir el sitio para la ubicación del tanque de almacenamiento es conveniente considerar que la red de distribución hacia aguas abajo sea lo más económica posible y que se maximice la uniformidad de presiones en toda la zona abastecida. En general esto se consigue si se sitúa el tanque en el centroide de la red de distribución. Esto es particularmente importante en aquellos casos de municipios con topografía plana que van a ser abastecidos a través de un tanque de almacenamiento aguas abajo de un sistema de bombeo. En el caso que las condiciones locales impidan que se cumpla con el requisito del centroide, se debe seleccionar la zona más próxima a dicho punto que sea factible.

### 9.3.4 Estabilidad de la estructura

El tanque debe estar localizado en terrenos no susceptibles de deslizamientos o inundaciones. Además, debe ser estable con respecto a la calidad

del suelo de cimentación y a fallas de origen geotécnico o geológico. Igualmente, la estructura debe ser estable para el sismo de diseño correspondiente a la zona de amenaza sísmica en que se encuentre ubicado el municipio objeto del sistema de acueducto.

### 9.3.5 Delimitación de las zonas de presión de la red de distribución

Para llevar a cabo el diseño de un tanque de almacenamiento y/o compensación, es necesario conocer las diferentes zonas de presión en la red de distribución que va a ser alimentada por dicho tanque. Para esto se debe estudiar el trazado de la red según lo descrito en el literal B.7.3.1 de este Título, con el fin de asegurar la compatibilidad entre la cota del tanque y la presión en los diferentes puntos de la red de distribución. En particular, se debe tener en cuenta el efecto que la cota del tanque pueda tener sobre estaciones reguladoras de presión previamente existentes en cuyo caso se debe recomendar su recalibración.

### 9.3.6 Facilidad de mantenimiento

El tanque debe diseñarse de tal forma que puedan realizarse labores de mantenimiento con el mínimo de interrupciones, teniendo en cuenta las siguientes disposiciones:

1. Para los niveles de complejidad del sistema medio, medio alto y alto el tanque debe tener como mínimo dos compartimientos que puedan operar en forma independiente.
2. Para el nivel de complejidad del sistema bajo y cuando el tanque tenga un solo compartimiento debe colocarse una tubería de paso directo (by pass) que permita mantener el servicio mientras se efectúa el lavado o la reparación del tanque, con la debida consideración del aumento que pueda presentarse en la presión en caso de que el tanque trabaje como una cámara aliviadora de presiones.
3. El tanque debe estar provisto de válvulas para el cierre de las tuberías de entrada, de las tuberías de salida, descarga de fondo y rebose que permitan la reparación de éstas, aún cuando el tanque se encuentre lleno de agua.
4. Los dispositivos para el cierre de las tuberías de entrada y salida deben ser instalados dentro de una caja que permita facilidad en su operación.
5. El diseño debe prever la forma de mantenimiento.

### 9.3.7 Vulnerabilidad y riesgo

Con propósitos de diseño de los tanques de almacenamiento y/o compensación, es necesario que desde la etapa de diseño se conozca el nivel de amenaza sísmica de la zona en la cual se construirá el tanque. Se debe tener en cuenta todo lo establecido en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, o la norma que la modifique, adicione o sustituya, con respecto a los niveles de amenaza sísmica de las diferentes zonas del municipio objeto del diseño. En particular se deben establecer los daños potenciales y categorizados de acuerdo con su nivel de severidad.

Los tanques son vulnerables a la deformación del suelo causado por inundaciones, problemas geotécnicos, geológicos y/o topográficos. Por consiguiente, el diseño debe establecer el nivel de vulnerabilidad del tanque. Cuando por razones geológicas, geotécnicas, topográficas, sísmicas o cualquier otro tipo de factor, el tanque presente una falla el diseño debe tener en cuenta que éste sea fácil y rápido de reparar.

Con el fin de disminuir la vulnerabilidad de los tanques frente a fenómenos sísmicos, los materiales de los componentes deben estar diseñados para soportar los esfuerzos de tensión y corte generados por el sismo de diseño aplicados al municipio objeto de la construcción del tanque.

El diseño debe cumplir con todo lo establecido en la Resolución 1096 de 2000 del antiguo Ministerio de Desarrollo Económico, en sus Artículos 193 “Cargas y Diseño Sísmico de Tuberías”, 194 “Diseño de Tanques y Compartimento Estancos de Concreto Reforzado”, 195 “Diseño de Tanques de Acero” y 196 “Tanques de Otros Materiales”, o las normas que la modifiquen, adicionen o sustituyan.

### 9.3.8 Restricción de acceso

El diseño debe incluir las medidas de seguridad necesarias para restringir el acceso a la zona del tanque mediante cercados, vías de acceso restringidas y vigilancia con el fin de evitar el acceso de personas distintas a aquellas encargadas de la operación y/o el mantenimiento de los tanques.

### 9.3.9 Anchos de servidumbres

En general, el ancho de las servidumbres debe ser el mínimo que permita, en forma cómoda, realizar las tareas de inspección y mantenimiento de los tanques. El ancho de servidumbre debe fijarse con base en la geometría del tanque, el espacio ocupado por los componentes del tanque, la facilidad de acceso y el espacio para maniobras de los equipos. En todo caso se recomienda que para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto el ancho de los retiros no sea superior a 6 m y para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo no sea superior a 4 m.

### 9.3.10 Tamaño del lote y paisajismo

El tamaño del lote debe estar definido por las dimensiones del tanque y el desarrollo de los taludes y las estructuras inherentes al proyecto, tales como estaciones de bombeo actuales o futuras, expansión del tanque, etc.

Las condiciones del suelo y los ángulos de los taludes para desarrollarlos, definidos por el estudio de suelos, son primordiales para establecer el tamaño mínimo del lote. Para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto, la zona en la cual se debe instalar el tanque debe contar con una zona de parqueo.

## 9.4 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño constituyen los elementos básicos para el desarrollo del diseño de tanques de almacenamiento y/o compensación. Es función del Viceministerio de Agua y Saneamiento, apoyado en la Junta Técnica Asesora del RAS, establecer los mecanismos, procedimientos y metodologías para la revisión, la actualización y la aceptación de los parámetros y valores para el diseño de tanques de almacenamiento y/o compensación.

### 9.4.1 Período de diseño

El período de diseño depende del nivel de complejidad del sistema, según lo establecido en la tabla B. 9.1.

Tabla B. 9.1 Período de diseño, según el nivel de complejidad del sistema

Nivel de Complejidad del Sistema	Período de diseño
Bajo, Medio y Medio Alto	25 años
Alto	30 años

### 9.4.2 Caudal de diseño

El caudal de entrada a los tanques de almacenamiento y/o compensación, depende de los parámetros de diseño y del tiempo de operación de los bombeos. En caso que se bombee durante las 24 horas, el caudal de entrada a los tanques es el caudal medio diario ( $Q_{md}$ ), en aquellos casos en que se bombee durante períodos inferiores a las 24 horas, el caudal de entrada del tanque corresponde al caudal medio diario ( $Q_{md}$ ) multiplicado por un factor igual que 24 horas dividido por el número de horas efectivas de bombeo.

En aquellos casos en que los tanques se encuentren abastecidos por gravedad desde el sistema de conducciones, el caudal de entrada al tanque es igual al caudal máximo diario ( $Q_{MD}$ ), calculado de acuerdo con la demanda proyectada

al período de diseño de la red de distribución localizada inmediatamente aguas abajo del tanque.

El tanque debe proveer el caudal máximo horario (QMH), teniendo en cuenta la variación del consumo que se entrega a la zona que se está abasteciendo.

### 9.4.3 Número de tanques

El número mínimo de tanques debe establecerse de acuerdo con las siguientes disposiciones:

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo, en caso de justificarse el almacenamiento según lo establecido en el literal B.9.2.1 de este Título, es suficiente que la red de distribución cuente con un solo tanque de almacenamiento.
2. Para los niveles de complejidad del sistema medio y medio alto, la red de distribución debe tener como mínimo un tanque de almacenamiento.
3. Para el nivel de complejidad del sistema alto, el número de tanques debe determinarse según los requisitos de presión y almacenamiento previstos para la red de distribución. En todos los casos, la red de distribución debe tener como mínimo dos tanques o al menos uno con dos módulos o compartimientos iguales que operen en forma independiente ante la posibilidad de que uno de ellos quede por fuera de servicio y/o para facilitar las labores de mantenimiento y limpieza sin suspender el servicio.

Para labores de mantenimiento, y si no hay un modulo adicional en el tanque se recomienda un *by pass* a la llegada al tanque con el fin de alimentar directamente la red de distribución, verificando en todo momento los requisitos de calidad del agua.

En todos los casos, el número de tanques debe calcularse de acuerdo con el análisis de generación de alternativas y la factibilidad de ampliación, descritos en el literal B.9.5 de este Título.

### 9.4.4 Capacidad de regulación

El tanque debe tener capacidad de compensar las variaciones entre el caudal de entrada proveniente de las plantas de tratamiento y el caudal de consumo en cada instante.

Para definir el volumen del tanque deben tenerse en cuenta las siguientes disposiciones:

1. Debe realizarse un análisis por métodos gráficos o analíticos, con base en curvas de demanda de cada población o zona abastecida y del régimen previsto de alimentación de los tanques. El volumen que va a ser almacenado será igual al volumen calculado multiplicado por un factor de 1.2.

2. En el nivel de complejidad del sistema bajo, si no existen datos que describan las curvas de variación del consumo horario, el volumen almacenado será igual que 1/3 del volumen distribuido a la zona que va a ser abastecida en el día de máximo consumo, garantizando en todo momento las presiones adecuadas.
3. En los niveles de complejidad del sistema medio y medio alto, en caso de preverse discontinuidad en la alimentación al tanque, el volumen de almacenamiento debe ser igual o mayor que 1/3 del volumen distribuido a la zona que va a ser abastecida en el día de máximo consumo, más el producto del caudal medio diario ( $Q_{md}$ ) por el tiempo en que la alimentación permanecerá inoperante.
4. Para el nivel de complejidad del sistema alto el volumen de regulación debe ser 1/4 del volumen presentado en el día de máximo consumo.

#### 9.4.5 Calidad del agua a la salida de los tanques de almacenamiento y/o compensación

El diseño debe tener en cuenta que los requisitos de calidad de agua en la red de distribución, aguas abajo del tanque, exigen manejar tiempos cortos de permanencia del agua, lo cual va en contravía de lo requerido por los almacenamientos, cuyo principal objetivo es tener capacidad para atender la demanda en los consumos picos. Por consiguiente el diseño debe incluir un estudio sobre la evolución de la calidad del agua en el tanque para las condiciones actuales y futuras, teniendo en cuenta la calidad de agua, en cuanto a cloro residual, entregada por la red de conducciones a la entrada del tanque. Se debe tener en cuenta para este diseño que el tiempo de permanencia debe ser inferior a 24 horas. Para los cálculos de la calidad del agua se deben utilizar los coeficientes de decaimiento del cloro en la red de distribución, establecidos en el literal B.6.4.4.7.

#### 9.4.6 Capacidad de demanda contra incendio

El volumen destinado a la protección contra incendios será determinado considerando una duración de incendio de 2 horas, calculando el caudal de incendio con la ecuación

$$Q_{in} = \frac{3.86}{60} \sqrt{\frac{P}{1000}} \times \left( 1 - 0.01 \sqrt{\frac{P}{1000}} \right) \quad (\text{B. 9.1})$$

donde:

$Q_{in}$  = Caudal contra incendios requerido ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).  
 $P$  = Población (habitantes).

Una vez se conoce el caudal de agua para protección contra incendio, se puede calcular el volumen de agua destinado a protección contra incendio, por medio de la Ecuación (B. 9.2).

$$V = Q_{in} T \quad (\text{B. 9.2})$$

donde:

$V$  = Volumen de agua para protección contra incendio ( $\text{m}^3$ ).

$Q_{in}$  = Caudal contra incendios requerido ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$T$  = Duración de incendio (s).

En el nivel de complejidad del sistema bajo no debe tenerse en cuenta la capacidad para demanda contra incendio.

## 9.4.7 Volumen del tanque

Para el nivel de complejidad del sistema bajo, el volumen del tanque debe ser igual al volumen de regulación, calculado en el literal B.9.4.4 de este Título.

Para los niveles de complejidad del sistema medio, medio alto y alto, el volumen del tanque debe ser la mayor cantidad obtenida entre la Capacidad de regulación y la Capacidad de demanda contra incendio, establecidas en los literales B.9.4.4 y B.9.4.6 de este Título respectivamente.

En todos los casos debe dejarse un borde libre con el fin de permitir la ventilación. Se recomienda un borde de 0.30 m como mínimo.

En caso de que el volumen calculado del tanque implique costos elevados de bombeo, el volumen puede ser menor al calculado, siempre y cuando se justifique mediante un análisis técnico-económico aplicado al período de diseño y que considere ampliaciones/extensiones futuras.

## 9.4.8 Materiales

Los tanques de almacenamiento y/o compensación pueden construirse en concreto reforzado, fibra de vidrio o vidrio fusionado al acero. En algunos casos particulares, los tanques pueden construirse en acero. En el caso que el diseño de los tanques incluya materiales diferentes a los anteriores, estos deben contar con la previa aprobación dada por la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio, dando prioridad a aquellas empresas de cubrimiento regional. Adicionalmente, los materiales deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. Las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente o las normas que las modifiquen, adicionen o sustituyan.

2. Los tanques deben ser impermeables y resistentes a la corrosión.
3. Siempre se debe hacer referencia a normas nacionales, normas internacionales y catálogos de los fabricantes de tanques.
4. Los tanques metálicos deben tener protección catódica en el interior y exterior si están enterrados, siguiendo la Norma AWWA D104.
5. Las tuberías metálicas, CCP o acero inoxidable, enterradas debajo o en el perímetro del tanque deben tener continuidad eléctrica y estación de medición.
6. La tubería de hierro dúctil debe estar encapsulada en manga de polietileno según el Manual AWWA M27 y la Norma ANSI/AWWA C105/A21.5

Adicionalmente, y de acuerdo con el material escogido, se debe cumplir con las normas técnicas mostradas en la tabla B. 9.2 o cualquier norma aceptada internacionalmente, equivalente a las incluidas, en cuyo caso se debe contar con la aprobación previa de la persona prestadora del servicio público de acueducto.

Tabla B. 9.2 Normas Técnicas de materiales para tanques

Norma	Nombre
AWWA D100	<i>Welded Steel</i>
AWWA D102	<i>Coating Steel</i>
AWWA D103	<i>Factory-Coated Bolted Steel Tanks for Water Storage</i>
AWWA D110	<i>Wire-Wound Circular Prestressed Concrete Water Tanks</i>
AWWA D120	<i>Thermosetting Fiberglass Reinforced Plastic</i>
AWWA D130	<i>Flexible Membrane Linings and Floating Cover Materials for Potable Water Storage</i>

Las tuberías para la entrada, salida y descarga que se encuentren debajo o en la periferia del tanque hasta las válvulas, deben ser construidas completamente en CCP, recubierto con mortero de concreto y deben tener continuidad eléctrica con estación de medición. También pueden construirse en hierro dúctil recubierto exteriormente en zinc e interiormente con mortero de concreto y encapsulado.

Los accesorios deben ser en el mismo material que las tuberías y en caso de que éstas sean cortadas y soldadas en el sitio, el material debe ser acero inoxidable 304, soldado con el proceso TIG o MIG y con estación de medición.

#### 9.4.9 Recubrimiento interno y protección de tanques

El recubrimiento interno de los tanques debe ser liso con el fin de evitar fenómenos de corrosión, crecimientos de biopelículas y facilitar las operaciones de lavado. Las tuberías de entrada y salida a los tanques deben ser revestidas con

materiales con los que se pueda evitar o disminuir el problema de corrosión.

En general se podrán usar los materiales que se describen en las siguientes normas, con el fin de proteger internamente los tanques y las tuberías de entrada y salida:

Tabla B. 9.3 Normas de recubrimiento interno para tuberías y tanques

Norma	Nombre
AWWA C104/A21.4	<i>Cement-Mortar Lining for Ductile-Iron Pipe and Fittings for Water</i>
AWWA C105/A 21.5	<i>Polyethylene Encasement for Ductile-Iron Pipe Systems</i>
AWWA C116/A 21.16	<i>Protective Fusion-Bonded Epoxy Coatings Int. &amp; Ext. Surf. Ductile-Iron/Gray-Iron Fittings</i>
ISO 8180	<i>Ductile Iron pipelines – Polyethylene sleeping for site application.</i>
ISO 8179-1	<i>Ductile iron pipes - External zinc-based coating - Part 1: Metallic zinc with finishing layer</i>
ISO 8179-2	<i>Ductile iron pipes - External zinc-based coating - Part 2: Zinc rich paint with finishing layer.</i>
NTC 4952	Tubos de hierro dúctil para líneas de tubería con o sin presión. revestimiento interior con mortero de cemento centrífugado. Requisitos generales.
NTC 747	Tubos de presión tipo cilindro de acero con recubrimiento de hormigón, mortero o ambos
AWWA D 110	<i>Wire &amp; Strand Wound, Circular, Prestressed Concrete Water Tanks.</i>
AWWA D 120	<i>Thermosetting Fiberglass-reinforced Plastic Tanks.</i>
AWWA D 103	<i>Factory Coated Bolted Steel Tanks for Water Storage</i>

- En caso que exista la posibilidad del paso de aguas lluvias en la cercanía del tanque, deben evitarse infiltraciones hacia el interior de éste.
- Si el tanque es enterrado o semienterrado, debe estar alejado de cualquier fuente de contaminación posible, tales como depósitos de basura, líneas de alcantarillado, pozos sépticos, etc.; en todo caso debe tener cubierta.
- Si el tanque es metálico, debe localizarse en zonas donde se minimice el riesgo de corrosión. Este tipo de tanques deben tener ánodos de sacrificio diseñados por el fabricante. Dentro de las recomendaciones de uso, debe quedar clara su duración y la forma de reemplazo de los ánodos.

#### 9.4.10 Distancia mínima a otras redes

La distancia mínima de un tanque enterrado o semienterrado a una tubería de alcantarillado debe ser mayor que 30 m, cuando el terreno es impermeable hasta una profundidad de 1 m por debajo del fondo del tanque y mayor que 45 m cuando el terreno es permeable.

Las distancias establecidas en el párrafo anterior pueden ser reducidas a la mitad, si se instala un sistema de drenaje que rodee externamente el perímetro del fondo del tanque.

#### 9.4.11 Presión en la tubería de alimentación al tanque

La presión en la tubería de entrada a los tanques de almacenamiento y/o compensación debe garantizar que el agua alcance el nivel máximo esperado en el tanque más 5.0 m, en aquellos casos en que la alimentación al tanque se haga por su parte superior.

#### 9.4.12 Tiempo de llenado del tanque

El tiempo de llenado de los tanques depende del caudal máximo de entrada y de la operación de las válvulas en esta. El diseño debe garantizar que tanto la tubería como la válvula a la entrada al tanque entreguen el caudal necesario para su llenado. Adicionalmente, el diseño debe establecer el tiempo y la forma de llenado para cada uno de los tanques que formen parte del sistema de abastecimiento de agua potable de un municipio. En todos los casos se debe garantizar que el primer metro de profundidad de llenado del tanque sea suave y lento, con el fin de evitar problemas de turbulencia y la posible resuspensión de sólidos sedimentados en el fondo del tanque.

#### 9.4.13 Niveles

Los niveles máximos y mínimos de los tanques de almacenamiento y/o compensación deben fijarse de tal forma que las presiones en la red de distribución de agua potable se hallen dentro de los límites de servicio establecidos en el literal B.7.9.1 de este Título, referente a las presiones en la red de distribución.

Para los niveles máximos y mínimos establecidos para cada uno de los tanques de almacenamiento, deben verificarse las presiones máximas y mínimas en la red de distribución aguas abajo, siguiendo lo establecido en el literal B.7.5.4 referente al cálculo hidráulico de la red de distribución de agua potable.

En aquellos casos en que el tanque funcione adicionalmente como un tanque de quiebre o aliviador de presiones, debe calcularse la altura adicional sobre el nivel máximo, con el fin de aumentar el borde libre del tanque evitando reboses innecesarios.

Si el tanque forma parte, adicionalmente, de la succión de una estación de bombeo, el diseño debe asegurar la conservación de un nivel mínimo con el fin de evitar la formación de vórtices y la consecuente entrada de aire en la tubería de succión. Con el fin de controlar la calidad del agua, todo tanque debe tener un nivel mínimo de operación y la tubería de salida debe colocarse en una cota mayor con el fin de evitar el paso de sedimentos.

Se recomienda que el nivel mínimo del tanque se encuentre 1.0 m por encima del fondo de éste y que su borde libre sea de por lo menos 0.3 m.

#### 9.4.14 Tiempo de vaciado y caudal de vaciado

El tiempo de vaciado del tanque calculado con la Ecuación (B. 9.3) debe ser menor que 8 horas. Dicha ecuación es válida, para tanques con área superficial constante a lo largo de su altura.

$$T = \frac{2 \times A \times \sqrt{h}}{m \times a \times \sqrt{2g}} \quad (\text{B. 9.3})$$

donde:

- $T$  = Tiempo de vaciado (s).
- $A$  = Área superficial del tanque ( $\text{m}^2$ ).
- $h$  = Cabeza sobre el desagüe (m).
- $m$  = Coeficiente de contracción del desagüe (adimensional).
- $a$  = Área del desagüe ( $\text{m}^2$ ).
- $g$  = Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ ).

El coeficiente  $m$  debe estar entre 0.50 y 0.60

El caudal máximo de salida agua durante el vaciado debe ser menor que el caudal máximo de entrada de aire en el sistema de ventilación. El sistema de alcantarillado receptor del desagüe del tanque debe tener la capacidad suficiente para transportar el caudal producido en el vaciado del tanque.

#### 9.4.15 Profundidad del fondo del tanque

Como criterio general, el fondo de los tanques enterrados o semienterrados debe estar 0.5 m por encima del nivel freático máximo. Cuando no sea posible, deben considerarse los efectos de flotación para el diseño estructural y asegurar que no exista peligro de contaminación.

#### 9.4.16 Comprobación de diseño bajo diferentes condiciones de operación

Con respecto a la comprobación del diseño hidráulico de los tanques de almacenamiento y/o compensación bajo diferentes condiciones de operación, el diseño debe seguir todo lo establecido en los literales B.6.5.9 y B.7.5.8 de este Título.

En particular, una vez que haya finalizado el diseño óptimo del tanque de almacenamiento y/o compensación, se debe comprobar su operación y comportamiento hidráulico bajo las siguientes condiciones de operación:

- Caudal mínimo de consumo en la red de distribución bajo las condiciones de nivel máximo y nivel mínimo en el tanque.

- Caudal máximo horario actual, bajo las condiciones de nivel mínimo y nivel máximo en el tanque.
- Caudal máximo horario correspondiente al final del período de diseño del tanque, bajo las condiciones de nivel máximo y nivel mínimo en éste.
- Operaciones hidráulicas especiales en la red tales como lavados de las tuberías.
- Operaciones de emergencia causadas por estallidos de tuberías y otras condiciones de operación especiales, que impliquen cambios temporales en la sectorización de la red localizada aguas abajo del tanque.

Similarmente, la comprobación de diseño también debe incluir los análisis de calidad de agua en el tanque y la red de distribución localizada inmediatamente aguas abajo de este. Para el análisis de la calidad del agua, el diseño debe utilizar las condiciones de la calidad mínima de agua garantizadas por la persona prestadora del servicio de agua potable en el punto de la conducción a la entrada del tanque objeto del diseño.

#### 9.4.17 Calidad del agua en tanques

Para el nivel de complejidad del sistema alto, y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio alto, el diseño debe utilizar un programa de cálculo hidráulico de redes de distribución de agua potable, basado en el método del gradiente, que incluya rutinas de calidad de agua que permitan calcular el cloro residual y su evolución tanto en el tanque como en cualquier punto de la red de distribución localizada agua abajo de este, dada una concentración de cloro inicial a la entrada del tanque. El módulo de calidad de agua del programa también debe permitir el cálculo de la vida media del agua en la red y de la edad del agua en los nodos de cada una de esta. Adicionalmente, el programa debe tener capacidad de simular las variaciones de nivel en el tanque de almacenamiento y/o compensación objeto del diseño.

#### 9.4.18 Protocolo de pruebas

En todos los procesos de diseño de tanques de almacenamiento y/o compensación el consultor debe establecer en forma clara el protocolo de pruebas que se deben realizar una vez se finalice la construcción del tanque. El diseño debe seguir todo lo establecido en los literales B.6.5.10 y B.7.5.9 de este Título.

En particular, el diseño debe establecer en forma clara los puntos de medición de niveles, caudales y presiones, tanto en el tanque objeto del diseño como en la red localizada inmediatamente aguas abajo de éste, al igual que las condiciones hidráulicas y temporales bajo las cuales se deben llevar a cabo dichas medidas. El consultor debe establecer el número de puntos, el tipo de

instrumentos de medición que deben ser utilizados para la toma de datos de presión, nivel, caudal y el tipo de instrumentos que deben ser utilizados para la toma de parámetros de calidad del agua al interior del tanque y en la red de distribución, estableciendo en todos los casos sus precisiones y rangos de medición. Para efectos de la determinación de la calidad del agua, como mínimo deben seguirse las disposiciones establecidas en las Resoluciones 2115 de 2007 y 811 de 2008 expedidas por el Ministerio de la Protección Social sobre puntos de muestreo de la calidad del agua, frecuencia y número de muestras.

Adicionalmente, el diseño debe establecer la frecuencia y el período de toma de datos. Con el fin de llevar a cabo las pruebas establecidas en el protocolo dado por el consultor, el diseño debe establecer la forma de simulación de las condiciones hidráulicas de campo en el modelo hidráulico de la red de distribución. Con el fin de aceptar las pruebas, el diseño también debe establecer los rangos de precisión que se consideren aceptables, comparándolos con aquellos arrojados por el modelo hidráulico, para recibir el tanque de almacenamiento y/o compensación. Las pruebas deben realizarse por el constructor del tanque bajo la supervisión de la persona prestadora del servicio público de acueducto.

## 9.4.19 Manual de operaciones

Para todos los niveles de complejidad del sistema, el diseño debe incluir un manual de operaciones de los tanques de almacenamiento y/o compensación, en el cual queden especificadas las diferentes formas de operación para diferentes escenarios de uso a lo largo de la vida útil del proyecto, incluyendo las siguientes:

1. Operación normal en el momento de entrada en operación.
2. Operación normal para las condiciones al final del período de diseño.
3. Operación bajo condiciones de emergencia.
4. Operación bajo condiciones especiales de mantenimiento.

# 9.5 Generación de alternativas

## 9.5.1 Análisis de costo mínimo

El diseño de todo tanque de almacenamiento y/o compensación debe seguir un análisis de costo mínimo de acuerdo con lo establecido en el literal B.1.2.1.10 de este Título. El análisis de costo mínimo es obligatorio para todos los niveles de complejidad del sistema exceptuando el nivel de complejidad del sistema bajo, en cuyo caso el análisis de costo mínimo se recomienda.

En caso que el tanque sea alimentado por un sistema de bombeo, el análisis de costo mínimo debe considerar el conjunto, el sistema de bombeo, la tubería de impulsión y el tanque de almacenamiento en sí.

En caso que se trate del diseño de un tanque y una red de distribución nueva, la cota a la cual se va a construir el tanque para suministrar las presiones adecuadas debe fijarse con un criterio de optimización de la red de distribución, buscando encontrar una solución de costo mínimo en todo el conjunto. Debe escogerse la cota y volumen del tanque de almacenamiento que, suministrando el caudal demandado y las presiones mínimas establecidas en este documento, en los puntos extremos de la red, implique los costos mínimos de tuberías en la red de distribución, costos de bombeo si los hay y costos del tanque, incluida la operación de todos ellos en el período de diseño del tanque y la red de distribución. Para el análisis de costo mínimo se debe utilizar el programa de diseño hidráulico de la red de distribución de agua potable, el cual debe basarse en el método del gradiente y contener rutinas que permitan la optimización del conjunto tanque-red de distribución. Se recomienda que estas rutinas estén basadas en métodos de inteligencia artificial, tales como algoritmos genéticos, lógica difusa y/o sistemas expertos.

## 9.5.2 Factibilidad de ampliación

El diseño debe identificar y justificar la expansión de diferentes tanques, de acuerdo con criterios económicos por etapas de construcción y teniendo en cuenta la proyección de almacenamiento y demanda durante el período de diseño de las estructuras. El diseño debe definir las etapas de expansión óptimas, indicando en cada una la capacidad de almacenamiento y/o compensación del tanque y las necesidades de regulación.

En todo caso, se debe disponer del espacio suficiente para la construcción de las futuras ampliaciones/extensiones, previendo desde la etapa de diseño el menor número de interrupciones posibles en el servicio de los tanques ya construidos.

# 9.6 Otras consideraciones de diseño

## 9.6.1 Entrada de agua al tanque

La entrada de agua al tanque debe cumplir con las siguientes disposiciones:

1. Debe colocarse de tal forma que permita la circulación y reduzca la posibilidad de zonas sin flujo en el tanque.
2. La entrada de agua debe ser dotada de un sistema de cierre manual o automático que pueda maniobrarse desde la parte externa del tanque. En caso de utilizar válvulas por flotador deben cumplirse las Normas Técnicas NTC 1901 y NTC 1991.
3. De ser posible, la entrada al tanque debe estar por la parte superior, especialmente cuando la alimentación se realice por bombeo.

4. Cuando la entrada al tanque pueda estar por encima del nivel del agua, debe amortiguarse el impacto de la caída del agua sobre el fondo del tanque cuando éste se encuentre vacío, para evitar la erosión del fondo.
5. Cuando la entrada se encuentre por debajo del nivel del agua, la tubería de alimentación debe estar dotada de un dispositivo de cierre, con el fin de impedir la pérdida de agua en caso de que ocurra una disminución de presión o falla en la tubería alimentadora.
6. Deben minimizarse las pérdidas de energía a la entrada del tanque.

En el caso de los tanques alimentados por bombeo, las entradas deben ser del tipo cuello de ganso y deben contar con un mecanismo de admisión de aire. En aquellos municipios en los que se tenga un exceso de energía a la entrada del tanque, la entrada debe contar con las válvulas y accesorios necesarios para garantizar una correcta disipación de dicha energía.

## 9.6.2 Salida de agua del tanque

La salida de agua del tanque debe cumplir con las siguientes disposiciones:

1. La salida de agua del tanque debe ser independiente de la entrada y deben evitarse zonas sin flujo en el tanque.
2. De ser posible, la salida debe colocarse opuesta a la entrada. En caso de no ser posible, deben colocarse mamparas dentro del tanque para lograr un mayor tiempo de detención del agua en el tanque.
3. El diámetro de la tubería de salida depende del diámetro de la tubería matriz de distribución o de la tubería de conducción.
4. El sistema de salida debe minimizar las pérdidas de energía, evitando superar un valor de 0.50 m en la línea piezométrica.
5. Debe evitarse la formación de vórtices al operar el dispositivo de salida para cualquier nivel de agua dentro del tanque, desde el nivel máximo hasta el nivel mínimo. Para evitar la formación de vórtices se recomienda seguir las siguientes indicaciones:
  - a) Si la salida está situada en un plano horizontal, la altura de agua sobre la salida debe ser igual a 3 veces la mayor dimensión de la abertura.
  - b) Si la salida está situada en un plano inclinado formando un ángulo no mayor que  $45^\circ$  con respecto a la horizontal, la altura de agua medida al centro de la abertura, debe ser igual a 3 veces la mayor dimensión de la abertura.
  - c) Si la salida está situada en un plano inclinado formando un ángulo mayor que  $45^\circ$  con respecto a la horizontal, la altura de

- agua medida desde la parte más alta de la abertura debe ser igual a 2 veces la mayor dimensión de la abertura.
6. La salida de agua debe ser dotada de un sistema de cierre manual o automático que pueda maniobrarse desde la parte externa del tanque.
  7. Después del sistema de cierre de salida debe existir un dispositivo que permita la entrada de aire en la tubería, cuando éste se cierre.
  8. Para garantizar la sumergencia y que todo el volumen del tanque sea útil, la tubería de salida debe estar conectada de un cárcamo con cota de batea por lo menos 0.5 m por debajo de la cota del fondo del tanque.

### 9.6.3 Rebose

Todo tanque de compensación debe tener un sistema de rebose, con el fin de evacuar los posibles caudales de exceso. El rebosadero debe estar dimensionado para evacuar el caudal máximo de entrada, cumpliendo con los siguientes requisitos:

1. El rebose debe descargar por medio de una tubería, vertedero o canal en una cámara independiente tan próxima al tanque como sea posible, y de allí debe ser evacuado a la tubería de limpieza de lavado.
2. En caso de utilizar tubería como rebose, ésta debe terminar en un tramo recto de longitud mayor o igual a 3.0 m. o a 3 veces su diámetro, medida a partir de su abertura al exterior.
3. La cámara de recolección del rebose debe tener una rejilla de 0.10 m en su parte superior con el fin de evitar la entrada de animales y basura a la cámara de rebose.
4. El rebose no debe limitar la capacidad de almacenamiento del tanque, asegurando que se obtenga el nivel máximo esperado en el tanque.
5. La cámara receptora de la tubería de rebose, debe estar dimensionada de tal forma que no ocurra rebose en ella.
6. Cuando se presenta rebose, el borde libre en las paredes del tanque debe ser de 0.10 m como mínimo, evitando cualquier presión sobre la tapa del tanque. Las paredes del tanque deben estar diseñadas para soportar esta carga adicional.
7. El diseño debe incluir la operación de alarmas para diferentes niveles del tanque. En particular, el diseño debe asegurar que una alarma se prenda en el momento en que el nivel del agua en el tanque llegue a una cota que sea 0.05 m menor que la cota de rebose. Este requisito es obligatorio para los niveles de complejidad del sistema alto y medio alto y se recomienda para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo.

## 9.6.4 Control de nivel en los tanques

El tanque debe estar provisto de un sistema indicador de nivel y de cierre en la entrada, que disminuya la posibilidad de rebosé. El dispositivo de control de nivel no debe dañar la calidad del agua.

Para los niveles de complejidad del sistema bajo, medio y medio alto, el cierre de la entrada puede ser manual. Para el nivel de complejidad del sistema alto, el sistema de cierre debe ser automático, recomendando sistemas de telemetría conectados al controlador de nivel y alarma sonora en el centro de control. Pueden utilizarse válvulas accionadas por flotador según la Norma NTC 1901.

## 9.6.5 Desagüe

En todos los casos debe colocarse una tubería de desagüe sobre el fondo de tal forma que se permita el vaciado del tanque en el tiempo especificado en el literal B.9.4.14 de este Título. Adicionalmente, el piso del tanque debe tener una ligera pendiente hacia la tubería de desagüe entre 0.05 y 0.1%.

## 9.6.6 Válvulas

En el diseño de los tanques se deben incluir los siguientes tipos de válvulas:

1. En el caso que existan altas presiones en el punto de entrada al tanque, el diseño debe incluir una válvula reductora de presión o una válvula de flujo anular que asegure una adecuada disipación de energía.
2. Para las estructuras de salida y de vaciado del tanque, el diseño puede utilizar válvulas tipo mariposa. En todos los casos, las válvulas deben ir acompañadas de válvulas de cheque, con el fin de prevenir reversiones del flujo.
3. Inmediatamente aguas debajo de la válvula, a la salida del tanque se debe colocar una válvula tipo ventosa para permitir la entrada de aire a las tuberías de la red de distribución localizadas aguas abajo del tanque.
4. El diseño también debe asegurar que todos los tanques vayan acompañados de una válvula adicional pequeña, con el propósito de permitir la toma de muestras de agua para medir la calidad de agua, en particular de su turbiedad.

## 9.6.7 Medición de caudal

Para los niveles de complejidad de sistema bajo y medio se recomienda instalar totalizadores en la tubería de salida del tanque, que permitan determinar los volúmenes suministrados en forma diaria.

En el nivel de complejidad del sistema medio alto deben colocarse medidores totalizadores en la tubería de salida del tanque, que permitan determinar los volúmenes suministrados en forma diaria, así como las variaciones de los caudales, siendo recomendado un sistema de telemetría.

En el nivel de complejidad del sistema alto deben colocarse medidores totalizadores en la tubería de salida del tanque, que permitan determinar los volúmenes suministrados en forma diaria, así como las variaciones de los caudales, siendo obligatorio un sistema de telemetría que permita conocer el caudal suministrado en cualquier instante.

## 9.6.8 Sistema de drenaje

Por debajo del fondo del tanque debe construirse un sistema de drenaje para captar las fugas que se presenten a través de su fondo y paredes y/o en tuberías de entrada y salida al tanque, descargando en una o más cámaras de recolección, donde sea posible visualizar la ocurrencia de fugas. En todo caso, debe cumplirse lo siguiente:

1. El sistema de drenaje debe ser subdividido en partes de tal forma que cada una tenga un área aferente máxima de 500 m<sup>2</sup>, descargando cada una en diferentes cámaras, con el fin de ubicar rápidamente la localización de fugas.
2. Los tubos de drenaje deben ser envueltos por una capa de grava de granulometría ascendente, desde el exterior hasta el interior.
3. En todo caso, debe evitarse que el agua procedente de las filtraciones ponga en peligro la cimentación de los tanques enterrados y semienterrados.
4. El sistema de drenaje del fondo debe ser independiente del sistema de drenaje del terreno establecido en el literal B.9.4.14 de este Título.
5. El agua proveniente del sistema de drenaje debe ser evacuada y entregada a la tubería de limpieza y lavado del tanque.

## 9.6.9 Diseño estructural del tanque

Con respecto a la comprobación del diseño estructural del tanque, se debe seguir todo lo establecido en el Título G del RAS: "Aspectos complementarios". En particular, se debe comprobar el comportamiento del tanque bajo las condiciones de nivel máximo, nivel mínimo y variación máxima del nivel en el tanque.

## 9.7 Obras complementarias

### 9.7.1 Impermeabilización de los tanques

Las paredes y el fondo deben ser impermeables y el material expuesto al agua debe ser resistente a los ataques químicos y a la corrosión.

### 9.7.2 Ventilación de los tanques

Los tanques de almacenamiento y/o compensación deben tener ductos de ventilación que permitan la entrada y salida del aire. Los ductos de ventilación deben estar acompañados con mallas de 5 mm para evitar la entrada de insectos. El caudal de aire mínimo en los ductos de ventilación debe ser igual al caudal máximo de entrada de agua o de salida por la tubería de desagüe, aquel que sea el mayor. Para el diseño del ducto de ventilación, el consultor puede utilizar las suposiciones de orificio o tubo corto, y hacer uso de las ecuaciones correspondientes, utilizando una diferencia máxima de presión de 5000 Pa entre lado y lado del orificio o tubo corto, y teniendo en cuenta que en estos casos el aire puede ser tratado como un fluido incompresible.

Con respecto a la forma de los ductos de ventilación, en caso que el volumen del tanque sea inferior a  $50 \text{ m}^3$ , el diseño debe asegurar que los ductos sean tubos verticales con dos codos de  $90^\circ$  conectados con un niple corto, de tal manera que formen una curva de  $180^\circ$ . Dichos ductos deben estar colocados en la cubierta del tanque. En el caso de tanques con volúmenes de agua mayor, el diseño debe incluir cámaras de ventilación, con orificios laterales debidamente protegidos.

### 9.7.3 Cubierta de los tanques

Todo tanque debe contar con una cubierta, la cual debe ser impermeable, continua y opaca y tener una capa reflectiva para evitar calentamiento interior.

Deben cumplirse las siguientes disposiciones:

1. Sobre la cubierta debe colocarse una capa adicional de algún impermeabilizante que se adhiera a ella.
2. La cubierta debe estar inclinada a una o dos aguas, con una pendiente no inferior al 2%, con el fin de evitar encharcamiento en su superficie.
3. Si sobre la cubierta se tiene previstos jardines, canchas deportivas o zonas de tránsito de peatones, la cubierta debe estar protegida con una capa de drenaje con escurrimiento natural, debidamente protegida. Esta condición debe tenerse en cuenta en el diseño estructural.

## 9.7.4 Acceso al interior del tanque

Cada tanque debe contar, por lo menos, con una tapa con cierre hermético para su inspección interior, ubicada sobre la cubierta, con una dimensión mínima de 0.6 m o igual a la que permita la entrada de equipos de mantenimiento.

Debe contarse con escaleras internas y externas de un material que no afecte la calidad del agua.

Es recomendable que el acceso se ubique encima de los equipos existentes en el tanque y cerca de las paredes. El acceso debe sobresalir un mínimo de 0.05 m por encima de la cubierta. Los accesos laterales, para el caso de los tanques metálicos, deben ser diseñados con cierre hermético.

## 9.7.5 Iluminación

No se permite la entrada de luz natural hacia el interior del tanque, salvo en las labores de observación, limpieza y mantenimiento.

En caso de ser necesaria iluminación artificial, ésta debe ser por medio de bombillos e instalaciones a prueba de humedad.

## 9.7.6 Señalización de tanques

Todo tanque elevado debe contar con luces de señalización de obstáculo elevado, para advertir su presencia a las aeronaves, y debe estar pintado de acuerdo con las normas del departamento administrativo de la aeronáutica civil. Todos los tanques deben estar señalizados con la convención internacional que los identifique como objetivos no militares.

## 9.7.7 Sistemas telemétricos

Para el nivel de complejidad del sistema alto, y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio alto, el diseño debe incluir sistemas telemétricos para transmitir información sobre los caudales de salida, la apertura de válvulas a la entrada y los niveles en cada uno de los tanques de almacenamiento y/o compensación. El diseño debe establecer el tipo de instrumentos de medición, así como su precisión y frecuencia de toma de datos. También debe asegurar que los datos tomados sean transmitidos en formatos compatibles con los sistemas de información, las bases de datos y el sistema de información geográfico establecidos por la persona prestadora del servicio público de acueducto.

La instrumentación telemétrica de un tanque debe incluir por lo menos las siguientes mediciones:

1. Caudal de salida del tanque hacia la red de distribución localizada aguas abajo.
2. Nivel de agua en el tanque.
3. Presión del agua en la tubería de entrada inmediatamente aguas arriba de la válvula reductora de presión o la válvula de flujo anular.
4. Porcentaje de apertura de la válvula reductora de presión o válvula de flujo anular a la entrada al tanque.
5. Caudales de rebose.
6. Calidad del agua.

## 9.7.8 Escaleras

En el caso que se requieran escaleras internas y externas, el diseño debe asegurar que éstas sean de un material que no afecte la calidad del agua. Se recomienda que las escaleras sean de aluminio o acero inoxidable.

## 9.7.9 Cajas de válvulas de entrada y de salida

Todas las válvulas que formen parte de las estructuras de entrada y salida a los tanques de almacenamiento y/o compensación deben colocarse dentro de cajas que deben construirse tan pronto el tanque de almacenamiento y/o compensación sea aceptado por la persona prestadora del servicio público de acueducto. Las cajas deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. Las cajas de válvulas deben ser de mampostería de ladrillo, de concreto reforzado o cualquier otro material aprobado por las personas prestadoras del servicio público de acueducto, y pueden ser rectangulares, cuadradas o cilíndricas.
2. El fondo de la caja debe ser de concreto con un espesor mínimo de 0.15 m.
3. Las cajas de las válvulas deben tener un sistema de drenaje dirigido al sistema de alcantarillado o a alguno de los cuerpos de agua del sistema de drenaje urbano del municipio.
4. La distancia entre el fondo de la caja y la parte inferior del cuerpo de la válvula no debe ser inferior a 0.2 m. Esta condición no debe tenerse en cuenta para el caso de ventosas.
5. En caso que las válvulas de entrada y de salida estén por fuera de la instalación del tanque, las tapas de las cajas para las válvulas deben ser de concreto reforzado y su espesor debe calcularse considerando las cargas vivas que van a actuar sobre ellas; en todo caso no debe ser menor que 70 mm. En caso contrario, las cajas pueden diseñarse sin cubierta. Alternativamente pueden utilizarse tapas metálicas en hierro gris. En el caso que las cajas contengan equipos de medición especiales, tanto para medición de caudales

como para medición de presiones, o equipos de comunicación y transmisión de datos, la tapa de la caja debe ser de seguridad.

## 9.7.10 Vías de acceso y parqueaderos en los terrenos alrededor de los tanques

El diseño de tanques de almacenamiento y/o compensación debe incluir las obras de acceso a la estructura, específicamente para obras de operación y mantenimiento. En particular, se debe tener en cuenta en el diseño, la construcción de vías de acceso adecuadas en la zona alrededor del tanque.

# 9.8 Aspectos de la puesta en marcha de los tanques

Una vez que se haya finalizado el proceso de construcción del tanque objeto del diseño, se deben realizar las pruebas descritas en los literales B.9.8.1 a B.9.8.6 de este Título. En todos los casos, estas pruebas deben estar de acuerdo con el protocolo establecido por el diseñador del tanque de almacenamiento y/o compensación, tal como se mencionó en los literales anteriores.

## 9.8.1 Inspecciones preliminares a los tanques

En la etapa de puesta en marcha deben realizarse las siguientes inspecciones en los diferentes elementos del tanque de compensación, antes de continuar con cualquier prueba:

1. En general, debe observarse el aspecto general del tanque en sus paredes, fondo, impermeabilización y obras anexas.
2. Debe verificarse el correcto funcionamiento de válvulas, accesorios en su apertura y cierre, controladores de nivel y totalizadores de caudal. Debe medirse el tiempo de accionamiento y corregir el mecanismo de cualquier accesorio que implique grandes esfuerzos para su operación.

## 9.8.2 Pruebas de estanqueidad

Deben realizarse pruebas hidrostáticas y de operación en las condiciones normales y críticas, con el fin de detectar escapes o fallas estructurales o hidráulicas y tomar las medidas correctivas, antes de entregar el tanque a disposición del sistema de acueducto.

El encargado de realizar estas pruebas debe tomar registros de los datos de los cuales se exija medición y presentar un informe de la prueba ante la SSPD, el cual debe contener el resultado de los ensayos realizados y las condiciones anormales encontradas.

Para realizar la prueba de estanqueidad el tanque debe estar lleno durante un período de 72 horas; una vez transcurrido este período se debe medir el descenso del nivel del agua en el tanque, considerando las pérdidas por evaporación durante los siguientes seis días. Las filtraciones en un período de 24 horas no deben ser mayores que 0.05 % del volumen del tanque, en caso que las filtraciones superen este valor se debe detectar la fuente de las filtraciones y realizar su reparación. Después de efectuar las reparaciones, el tanque debe probarse nuevamente para verificar que cumple con los criterios de estanqueidad.

En caso de encontrar anomalías en el funcionamiento o condiciones de operación diferentes a las previstas en el diseño, deben tomarse las medidas correctivas que sean necesarias antes de colocar el tanque al servicio del sistema de acueducto.

### 9.8.3 Pruebas hidráulicas del tanque

Para verificar el correcto funcionamiento hidráulico del tanque deben llevarse a cabo las siguientes pruebas:

1. El tanque debe llenarse hasta su nivel máximo, observando posibles fugas a través de paredes o en la descarga del drenaje de fondo. Estas pruebas deben realizarse antes de proceder al relleno lateral de los tanques. Durante el tiempo de llenado deben verificarse las presiones a la entrada, el porcentaje de apertura de la válvula de flujo anular y la forma de las corrientes, con el fin de detectar la posible presencia de zonas muertas dentro del volumen de agua. El tanque debe permanecer lleno por un período mínimo de 12 horas.
2. El vaciado del tanque debe probarse con el caudal máximo horario y durante las pruebas se debe establecer la posible existencia de vórtices, en especial cuando el nivel del tanque esté cercano al mínimo.
3. La capacidad de la estructura de rebose debe verificarse con el caudal máximo diario, o aquel que corresponda al caudal máximo de entrada.

### 9.8.4 Pruebas de calidad del agua

Teniendo en cuenta lo establecido por el consultor en el protocolo de pruebas, se deben hacer pruebas de calidad de agua dentro del tanque, en particular sobre la evolución del cloro residual. Para esto, se debe medir la calidad de agua a la entrada al tanque y la calidad del agua a la salida de éste, con el fin de verificar lo establecido en el diseño. Estas pruebas deben utilizarse para establecer la presencia de posibles zonas muertas en el tanque.

## 9.8.5 Pruebas hidráulicas en la red

Para comprobar el efecto hidráulico que el tanque de almacenamiento y/o compensación objeto del diseño tiene sobre la red de distribución de agua potable aguas abajo de éste, se debe seguir lo establecido en el protocolo de pruebas dado por el consultor. En el caso de las pruebas hidráulicas en la red se debe seguir lo establecido en el literal B.7.9.1 de este Título. En el caso de las válvulas y las ventosas, debe seguirse lo establecido en el literal B.7.9.4 de este Título.

## 9.8.6 Desinfección de los tanques de almacenamiento

Antes de poner en servicio cualquier tanque de distribución, éste debe ser desinfectado, debe tenerse en cuenta la norma técnica NTC 4576: “Desinfección de Instalaciones de Almacenamiento de Agua Potable”.

La desinfección debe ser hecha con compuestos clorados, llenando el tanque con una concentración de 50 p.p.m. de cloro en el agua y una duración mínima de 24 horas de contacto, al final de las cuales se debe proceder al drenaje total del agua de lavado al sistema de alcantarillado. Si el cloro residual libre del agua de lavado al final de las 24 horas es inferior a 0,4 mg/l, se debe repetir la operación con 25 p.p.m.

## 9.9 Aspectos de la operación de tanques de almacenamiento

Para el caso de los tanques, desde la etapa de diseño se deben establecer en un manual de operaciones los siguientes aspectos operativos con el fin de asegurar el correcto funcionamiento hidráulico para las diferentes condiciones de operación normal y/o de emergencia que puedan ocurrir a lo largo de la vida útil del proyecto.

### 9.9.1 Verificación de presiones

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo deben medirse las presiones a la entrada y a la salida en horas de máximo consumo, una vez al mes.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio deben medirse las presiones a la entrada y a la salida en horas de máximo consumo, una vez por semana.
3. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto deben medirse permanentemente las presiones a la entrada y

a la salida en horas de máximo consumo, preferiblemente con sistemas de telemetría.

### 9.9.2 Control de filtraciones

En el caso de tanques de concreto reforzado superficiales o semi-enterrados susceptibles de filtraciones a través de las juntas de dilatación y construcción, las filtraciones no podrán superar el caudal de 1 L/min por cada 5.000 m<sup>3</sup> de agua almacenada.

1. Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, debe realizarse una verificación de las filtraciones en las cámaras recolectoras de los drenajes de fondo, una vez cada seis meses.
2. Para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto, debe realizarse una verificación de las filtraciones una vez cada tres meses.

### 9.9.3 Control de entrada de agua al tanque

1. Para el nivel de complejidad del sistema bajo debe cerrarse manualmente la entrada ante la situación de agua en exceso.
2. Para los niveles de complejidad del sistema medio y medio alto debe cerrarse manualmente la entrada ante la situación de agua en exceso. Se recomienda utilizar un sistema de alarma de rebose.
3. Para el nivel de complejidad del sistema alto debe cerrarse automáticamente la entrada ante la situación de agua en exceso. Se recomienda utilizar un sistema de alarma de rebose y la utilización de telemetría en los sistemas de control.

### 9.9.4 Calidad de agua en el tanque

Una vez que el tanque de almacenamiento y/o compensación entre en operación y durante todo el período de vida útil del proyecto, debe verificarse la calidad de agua en éste haciendo muestreos tanto a la entrada como a la salida del tanque. Los muestreos deben ser diarios para el nivel de complejidad del sistema alto y deben ser semanales para los demás niveles de complejidad del sistema. Con respecto a la calidad del agua en el tanque debe seguirse todo lo establecido en el literal B.7.5.5 de este Título.

### 9.9.5 Uso de tecnologías de información para la operación

Para el nivel de complejidad del sistema alto, y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio alto, se deben seguir los siguientes

requisitos para el uso de tecnologías de información asociados con la operación de los tanques de almacenamiento y/o compensación.

La operación de los tanques de almacenamiento y/o compensación en conjunto con la red de distribución localizada aguas abajo de éste, debe modelarse en un programa de modelación hidráulica de redes que utilice el método del gradiente para sus cálculos, que permita la modelación en período extendido, que tenga rutinas de calidad de agua en la red y que permita el uso de tanques con nivel de agua variable como uno de los accesorios de suministro de agua a las redes modeladas. El uso del modelo tiene el objetivo de establecer reglas de operación tanto para el tanque como para la red de distribución localizada aguas abajo de éste, en particular en aquellos casos en los cuales, por razones de emergencia o de mantenimientos, se deba cambiar la sectorización de la red de distribución, operando válvulas de aislamiento entre sectores y sub-sectores.

El modelo hidráulico utilizado debe tener en cuenta la altimetría, la planimetría, las demandas de agua y los patrones de consumo en la zona de la red localizada aguas abajo del tanque. La topología del modelo debe representar de manera precisa la condición actual de la red, así como las condiciones de consumo al final del período de diseño de ésta. La operación de la red de distribución aguas abajo de los tanques se debe modelar sobre un modelo hidráulico calibrado para representar el comportamiento real del conjunto tanque-red. Por consiguiente, el programa de modelación hidráulica utilizado debe contar con rutinas de calibración.

## 9.10 Aspectos del mantenimiento de tanques

Para el mantenimiento de los tanques de almacenamiento y/o compensación el diseño debe tener en cuenta los aspectos mostrados en los literales B.9.10.2 a B.9.10.6 de este Título. En aquellos municipios correspondientes al nivel de complejidad del sistema alto, en los que existan sistemas de gestión de calidad, se podrá seguir lo establecido por la correspondiente persona prestadora del servicio público de acueducto. Igualmente, cuando los aspectos de mantenimiento no se encuentren específicamente detallados para zonas del municipio que formen parte de dicho sistema, se recomienda la aplicación de los siguientes literales.

### 9.10.1 Manual de mantenimiento

El manual de mantenimiento de los tanques de almacenamiento y/o compensación debe incluir un programa rutinario de labores de inspección, mantenimiento y reparación, determinando una serie de actividades diarias, semanales, mensuales y anuales que permitan el funcionamiento normal sin interrupciones del servicio. Para todos los niveles de complejidad del sistema, la

persona prestadora del servicio público de acueducto debe elaborar y mantener actualizado el manual de mantenimiento de los tanques en el que se debe incluir como mínimo lo establecido en los siguientes literales.

## 9.10.2 Mantenimiento preventivo

Todas las estructuras, válvulas, accesorios y tuberías que forman parte de la obra de un tanque de almacenamiento y/o compensación deben tener programas de mantenimiento preventivo y correctivo de acuerdo con los siguientes requisitos:

1. Las labores de mantenimiento de tanques deben ser siempre de tipo preventivo. Para esto, el diseño debe incluir las rutinas de mantenimiento de los tanques desde el momento de la concepción del proyecto.
2. Las labores de mantenimiento de todo equipo electromecánico que formen parte del sistema de los tanques de almacenamiento y/o compensación deben ser de tipo preventivo.

Para el nivel de complejidad del sistema alto, en aquellos casos en que las labores de mantenimiento de un tanque impliquen la suspensión del servicio de abastecimiento de agua potable a la red de distribución inmediatamente aguas abajo de este, la persona prestadora del servicio de agua potable debe informar previamente a la comunidad sobre los horarios de los cortes programados en el suministro de agua. En este caso, se debe hacer uso del modelo hidráulico de la red de distribución, con el fin de identificar los suscriptores que van a ser afectados por la suspensión del servicio y los suscriptores que van a tener bajas en la presión a lo largo del período de mantenimiento. De todas formas, en estos casos el diseño debe contemplar alternativas de abastecimiento de agua durante el mantenimiento de los tanques de tal forma que se minimice el número de suscriptores que se vean afectados por la suspensión del servicio.

## 9.10.3 Limpieza de tanques

Las labores de limpieza no deben afectar las presiones ni el caudal entregado en la red de distribución, ni influir en el servicio. Deben desinfectarse las paredes y el piso de acuerdo a los procedimientos indicados en la norma técnica NTC 4576. Estas actividades deben realizarse por lo menos una vez al año.

1. Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio debe limpiarse completamente el tanque cada 6 meses.
2. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto y alto debe limpiarse completamente el tanque como mínimo cada 6 meses. En caso que por su magnitud, dicho tanque sea estratégico para el servicio de acueducto, y su limpieza pueda causar trastornos a este, se recomienda efectuar un control permanente de los sedimentos depositados en el fondo así como el del cloro residual libre, para diferir este plazo de mantenimiento.

## 9.10.4 Impermeabilización de los tanques

Durante las labores de operación de tanques de almacenamiento y/o compensación en que se detecten filtraciones mayores a las mínimas permisibles, establecidas en el literal B.9.9.2 de este Título, debe procederse a la impermeabilización de todo el tanque haciendo uso de productos autorizados por el Ministerio de la Protección Social y por la persona prestadora del servicio público de acueducto. Dichos productos no pueden afectar ni la salud pública ni la calidad del agua suministrada. En particular, no se puede utilizar ninguna sustancia que contenga plomo para las labores de impermeabilización de los tanques.

## 9.10.5 Mantenimiento de accesorios

Para el caso de los accesorios que forman parte de las estructuras de control y de operación normal de los tanques de almacenamiento y/o compensación, se requieren las siguientes labores de mantenimiento: en el caso de las válvulas reductoras de presión o válvulas de orificio localizadas a la entrada de los tanques, debe verificarse su estado, su ecuación de calibración y sus mecanismos de operación por lo menos una vez al mes para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto y por lo menos una vez cada tres meses para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo. En forma similar, se debe verificar el estado de las válvulas a la salida del tanque y las válvulas de descarga del fondo para vaciado de este. En todo caso debe seguirse las recomendaciones establecidas en las normas técnicas correspondientes a cada válvula y accesorio. Para otros accesorios debe realizarse el mantenimiento teniendo en cuenta las normas técnicas establecidas y los manuales del fabricante.

## 9.10.6 Uso de tecnologías de información para las labores de mantenimiento

Para el nivel de complejidad del sistema alto y como recomendación para el nivel de complejidad del sistema medio alto, las operaciones de mantenimiento de los tanques de almacenamiento y/o compensación se deben apoyar en el uso del modelo hidráulico calibrado de la red de distribución de agua potable localizada aguas abajo de estos, y de aquellas redes de sectores o subsectores adyacentes desde los cuales se pueda realizar el abastecimiento de agua durante las labores de mantenimiento. El modelo se debe utilizar para dimensionar el impacto de las acciones de mantenimiento sobre el suministro normal de agua potable. El objetivo es establecer aquellos suscriptores que vayan a ser afectados por las labores de mantenimiento, en particular los que se van a quedar sin servicio de acueducto y aquellos que durante dichas labores van a presentar disminución en las presiones normales de servicio.

## TÍTULO B

### ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y GESTIÓN DEL RIESGO

# **10. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y GESTIÓN DEL RIESGO**

## **10.1 Alcance**

El presente capítulo expone la metodología específica de análisis de las vulnerabilidades, la valoración del riesgo y las medidas de control como base de la gestión del riesgo. Aspectos que deberán realizar los consultores y las personas prestadoras del servicio de acueducto, con especial énfasis en el tema de calidad del agua y sus afectaciones sobre las comunidades.

El análisis y gestión del riesgo se debe considerar para las condiciones de posible afectación que conlleven a fallas en la operación del sistema, deficiencias en la prestación del servicio y condiciones de riesgo para la comunidad. Estos aspectos deberán hacer parte de un programa estructurado de gestión del riesgo y de mitigación de las vulnerabilidades identificadas del sistema, que sea aplicado mediante los siguientes elementos de gestión:

1. Plan general de gestión del riesgo, que incluya el diagnóstico del sistema, un programa general de acciones y un esquema de Indicadores de gestión del riesgo que involucre la valoración de las vulnerabilidades, de las amenazas, de los riesgos y sus medidas de control.
2. Plan de obras para la mitigación de las vulnerabilidades que corresponda a un mejoramiento de los indicadores de gestión del riesgo.
3. Manual y/o procedimientos de acción ante contingencias operativas y administrativas que permitan a los operadores de los sistemas tener los lineamientos de manejo ante eventos específicos.

## **10.2 Análisis y valoración del riesgo en sistemas**

Para el análisis de todos los aspectos relacionados con el riesgo, en los sistemas de acueducto, se deben tener en cuenta las amenazas y las vulnerabilidades, propias del sistema, correspondientes a cada amenaza, para así determinar los niveles de riesgo.

A continuación se describen los criterios de análisis para los elementos del riesgo en sistemas de acueductos.

## 10.2.1 Definición de eventos críticos

El primer aspecto en la evaluación y valoración del riesgo, a desarrollar, es la revisión de los posibles eventos, agentes generadores de riesgo, que pueden afectar las condiciones del sistema. Estas amenazas están descritas en el capítulo G.6 “Vulnerabilidad y reducción de riesgos” del Título G del RAS: “Aspectos complementarios”.

El criterio de análisis para las amenazas se puede definir utilizando una métrica (medida, valoración y/o clasificación de las amenazas) mediante la definición de unas categorías que sirvan para determinar si el impacto sobre el sistema es alto, medio o bajo, según el caso.

En el siguiente cuadro, se presentan algunas especificaciones generales para el análisis de las amenazas, el origen, los posibles sistemas afectados en primera instancia y algunas recomendaciones para la definición del nivel de afectación y/o la probabilidad de ocurrencia.

Tabla B.10.1 Amenazas para la infraestructura de acueductos

Definición de amenaza	Amenaza específica	Sistema afectado	Valoración de la amenaza. Nivel de impacto-probabilidad de ocurrencia
Origen natural	Sismos	Toda la infraestructura	Sismos leves, intensos, terremotos.
	Inestabilidades geotécnicas-Deslizamientos	Toda la infraestructura	Inestabilidad local, regional, activa, pasiva.
	Maremotos-Tsunamis	Toda la infraestructura	Escalas medición, intensidad, epicentros.
	Inundaciones y avalanchas	Toda la infraestructura	Nivel de inundación.
	Huracanes, tormentas y vendavales	Tanques, estructuras superficiales	Intensidad propia del fenómeno.
Agentes externos	Erupciones y productos volcánicos	Toda la infraestructura	Flujo de lava, lluvia de cenizas.
	Interferencias otra infraestructura	Toda la infraestructura	Depende de la afectación.
	Incendios-explosiones	Toda la infraestructura	Magnitud de las conflagraciones.
	Sequías	Cuencas-Abastecimiento	Depende del período y la hidrología de la cuenca.
	Cambio climático	Estabilidad hidrológica cuencas	Depende de la evolución hidrológica de la cuenca.
Antrópicos	Daños ocasionados por externos	Toda la infraestructura	Depende del nivel de la exposición.
	Contaminación	Toda la infraestructura	Depende de la accesibilidad a la infraestructura.
	Orden público	Toda la infraestructura	Depende de la accesibilidad a la infraestructura y la estabilidad social, política y económica de la región.

De esta manera, se deben tener en cuenta los siguientes lineamientos para el análisis de las amenazas:

1. Con base en los riesgos generales sobre la infraestructura de acueducto, se deben definir las amenazas más directas y de mayor impacto para la región específica del país.
2. Para cada amenaza se debe definir el sistema y/o los sistemas afectados.
3. Se debe determinar la relación intrínseca entre intensidad del impacto y su probabilidad de ocurrencia y si es posible condensar en una sola caracterización estos dos elementos.
4. Definir la métrica de la amenaza sobre el sistema, es decir, las categorías que se usarán para medir el grado de amenaza sobre los sistemas en el análisis de riesgo.

## 10.2.2 Análisis de la vulnerabilidad del sistema

El análisis de la vulnerabilidad se debe basar en la estructura operacional del sistema de acueducto, donde cada elemento va a ser determinante en la vulnerabilidad global del sistema (captación, aducción, plantas de tratamiento, conducción, tanques, redes primarias, redes secundarias, zonas de servicio).

De esta manera, para consolidar el análisis de la vulnerabilidad se deben seguir los siguientes lineamientos:

1. Definición de los elementos funcionales de los sistemas.
2. Determinación de la importancia funcional de cada uno de los elementos de los sistemas.
3. Diagnóstico físico y operativo de cada uno de los sistemas. Estado estructural, capacidad sismo resistente, estabilidad geotécnica, grado de corrosión, ajustes requeridos electromecánicos, estado de deterioro de materiales, personal operativo (cantidad, capacitación y capacidad de reacción), estado de la operación, niveles de servicio, capacidades de conducción, niveles de supervisión y control, manuales de operación y contingencias.
4. Identificación de las vulnerabilidades, según el diagnóstico físico y operativo de cada uno de los elementos del sistema.
5. Valoración de las vulnerabilidades identificadas, que se puede realizar mediante una ponderación de la capacidad total del sistema distribuida en cada uno de los elementos y teniendo en cuenta las posibilidades de suplencia.

## 10.2.3 Análisis de la vulnerabilidad del entorno

Es necesario realizar un análisis de las afectaciones que pueden generar fallas en el sistema o en el entorno, en casos como las roturas, fugas y otras

que afectarían las condiciones del entorno, en especial sobre las vidas humanas y bienes de la comunidad. Para este análisis se deberán evaluar los siguientes criterios como amenazas potenciales:

1. Zonas con redes antiguas que han presentado daños concurrentes.
2. Zonas con altas presiones y con potencial de rehabilitación de redes.
3. Tanques y estaciones de bombeo con potencial adecuación estructural de acuerdo con las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente.
4. Tanques y estaciones de bombeo en zonas de riesgo geotécnico.
5. Tanques y estaciones de bombeo con operación manual, local o remota.
6. Redes de conducción, impulsión o distribución de tanques y estaciones con operación manual.

Con estos criterios, se deberán determinar las vulnerabilidades sobre la comunidad en función del nivel socioeconómico de las áreas vecinas, de la operación y capacidad de los sistemas de alcantarillado de aguas lluvias y del drenaje urbano.

## 10.2.4 Análisis del riesgo

En el análisis del riesgo, inicialmente se debe considerar la determinación de las implicaciones que tiene la falla del sistema sobre el usuario o el agente receptor del sistema o proceso, lo cual se logra mediante la evaluación de las consecuencias directas que hay sobre los agentes receptores de cada proceso o sistema, que puedan ser medidas y cuantificadas.

De esta manera, con la determinación de los riesgos, se procede a realizar su categorización, utilizando métricas semejantes a las correspondientes de los niveles de vulnerabilidad o métricas propias y asociando a cada categoría el valor de la pérdida relacionada.

Con base en lo anteriormente expuesto, la conformación del análisis del riesgo debe seguir los siguientes lineamientos:

1. Determinación de los riesgos, las categorizaciones y los niveles cuantitativos relacionados.
2. Determinación de las amenazas asociadas con cada riesgo definido anteriormente, con su análisis y categorización respectiva.
3. Determinación de los puntos del sistema o elementos del sistema que son afectados por la amenaza y su respectivo análisis de vulnerabilidad. En el sentido de la falla del elemento y del sistema como un todo.
4. Para el caso particular de cada riesgo, se debe realizar su valoración, cruzando la información de amenaza y vulnerabilidad.
5. Definir las posibles medidas de control del riesgo y su valoración en los mismos términos de los riesgos.
6. Definición de los planes de mitigación de las vulnerabilidades.
7. Definición de los planes de contingencia.

8. Construir los Indicadores de seguimiento de la evolución del riesgo y la vulnerabilidad.
9. Evaluar los planes de mitigación y contingencias.

## 10.2.5 Valoración del Riesgo-Indicadores de gestión del riesgo

La valoración del riesgo consiste en darle un peso específico al evento de falla, con base en la categorización tanto del análisis de amenazas y del análisis de vulnerabilidad. Este peso debe ser cuantificable de tal forma que sirva de criterio objetivo para la toma de decisiones de las medidas de control.

Así, para el caso particular de cada riesgo se debe cruzar la categorización tanto de la amenaza con la categorización de la vulnerabilidad, que deben medir respectivamente, nivel de impacto o probabilidad de ocurrencia y nivel de vulnerabilidad del sistema. Con este cruce se definen los distintos niveles de riesgo para diferentes categorías de amenaza y diferentes categorías de vulnerabilidad. La definición de los niveles puede ser establecida por alguna regla racional que valore tanto lo nocivo de la amenaza como la exposición del sistema. Una vez establecido el nivel de riesgo para las condiciones de amenazas y las vulnerabilidades identificadas, se procede a la valoración del riesgo mediante los valores cuantitativos asociados a cada categoría del riesgo.

## 10.3 Programa de gestión del riesgo-medidas de control<sup>7</sup>

La gestión del riesgo es un conjunto de actividades y procesos cuyo propósito es el control del mismo en un sentido racional que requiere de seguimiento y de mantenimiento en el tiempo. Éste se basa en medidas de control, las cuales son acciones específicas para reducir el nivel de riesgo inicial y mantener uno que sea racionalmente sostenible y adecuado con las circunstancias específicas de las amenazas.

El análisis de las medidas de control del riesgo debe tener en cuenta el siguiente desarrollo:

1. Realizar la valoración del riesgo para el caso sin medidas de control.
2. Valorar el riesgo teniendo en cuenta la estructuración concreta del plan de mitigación de las vulnerabilidades.
3. Realizar la equivalencia en valores cuantificables y comparables de los niveles de riesgo absoluto, correspondiente al escenario sin medidas de control y de riesgo residual correspondiente al escenario con medidas de control.

<sup>7</sup> Desarrollo basado en los lineamientos del Documento Guía para la Administración del Riesgo. Departamento Administrativo de la Función Pública-República de Colombia-2007.

4. Determinar con base en criterios económicos, financieros y operativos, las medidas de control más adecuadas, desde el punto de vista racional del análisis y de su aplicabilidad al riesgo específico.
5. Estructurar el plan de mitigación de las vulnerabilidades con base en las medidas de control de riesgo.

Con base en el análisis, se definen los lineamientos de la gestión que debe contener las siguientes actividades y procesos:

1. Definición del Mapa de gestión del Riesgo, el cual delimita la estructuración de la gestión del riesgo.
2. Seguimiento y consecución del plan de mitigación de las vulnerabilidades.
3. Determinación de los procedimientos para el seguimiento de los Indicadores de riesgo y seguimiento de las medidas de control.
4. Revisión de causas y efectos de eventos específicos de afectación que ocurran durante el periodo de gestión.
5. Desarrollo de los planes de contingencia, mediante la ejecución de los diferentes procedimientos de los planes, la revisión de la efectividad de las acciones en los eventos y la revisión de los protocolos de comunicaciones.

Para la definición de las medidas de control y el nivel de inversión requerido en el plan de mitigación de las vulnerabilidades, es necesario contar con un criterio adecuado, éste debe conciliar la inversión realizada sobre la infraestructura para mitigar la vulnerabilidad con la disminución del valor del riesgo absoluto y también con la valoración del riesgo residual. Esto se puede plantear en la siguiente relación:

$$\text{Inversión}_{\text{Riesgo}} \equiv \Delta\text{Riesgo} = \text{Riesgo}_0 - \text{Riesgo}_f \quad (\text{B. 10.1})$$

donde:

$\text{Inversión}_{\text{riesgo}}$  = Valor de la inversión requerido para pasar de un valor del Riesgo  $\text{Riesgo}_0$  a un valor del Riesgo  $\text{Riesgo}_f$ .

$\text{Riesgo}_0$  = Riesgo Absoluto.

$\text{Riesgo}_f$  = Riesgo Residual después de implementada la Medida de Control con la Inversión.

De esta manera se debe generar el plan de mitigación de las vulnerabilidades, realizando una priorización de las obras, según la inversión y según los niveles de riesgos esperados.

### 10.3.1 Mapa de gestión del riesgo

El mapa de gestión del riesgo es la consolidación de todo el análisis tanto de las amenazas, vulnerabilidades, la valoración del riesgo, la

consolidación de las medidas de control, las acciones para la gestión del riesgo y sus responsabilidades<sup>8</sup>.

Los documentos que consolidan los mapas de gestión del riesgo y que estructuran la gestión del riesgo, deben contener los siguientes aspectos relevantes:

1. Introducción, definiendo la importancia de la gestión del riesgo en el proceso o sistema específico.
2. Objetivos generales y específicos de la gestión del riesgo para el proceso o sistema específico.
3. Presentación de la política general de la gestión del riesgo. Alcances y definición del propósito para los clientes y para el operador.
4. Presentación de los procesos y/o sistemas con gestión del riesgo.
5. Definición de los riesgos a ser controlados.
6. Presentación del análisis de las amenazas.
7. Presentación del análisis de las vulnerabilidades identificadas.
8. Presentación del análisis de valoración de los riesgos y los análisis de las medidas de control.
9. Presentación del plan de mitigación de las vulnerabilidades.
10. Presentación del plan de contingencia.
11. Presentación de los indicadores de seguimiento y valoración.
12. Plan de calidad de implementación-procesos-responsables-actividades específicas.
13. Consolidado del mapa de procesos-cuadros resumen y matrices de riesgos.

### 10.3.2 Plan de mitigación de las vulnerabilidades identificadas

El plan de mitigación de las vulnerabilidades Identificadas es el conjunto de inversiones y su respectiva gestión para hacer realizables las medidas de control. Este plan debe ser el resultado del análisis de las vulnerabilidades y del riesgo. Para las distintas formas de amenazas citadas, el plan debe proveer los lineamientos de inversión bajo los siguientes parámetros:

1. Para amenazas sísmicas. Plan de inversiones en reforzamiento sísmico de la infraestructura de acueducto.
2. Para amenazas por deslizamientos. Plan de inversiones de estabilización geotécnica de la infraestructura de acueducto que está en alto riesgo.
3. Para amenazas por maremotos y tsunamis. Plan de inversiones de protección costera o protección de la infraestructura.

<sup>8</sup> Concepto derivado del correspondiente al Documento Guía para la Administración del Riesgo. Departamento Administrativo de la Función Pública-Repúb

4. Para amenazas por inundaciones y avalanchas. Plan de inversiones de protección de la infraestructura, como jarillones y/o suplencias del sistema.
5. Para amenazas por productos volcánicos. Plan de inversiones de protección de la infraestructura al contacto de dichas sustancias.
6. Para amenazas por agentes externos. Plan de seguimiento y catastro de la infraestructura de acueducto que verifique las interferencias con otras redes y servidumbres con potencial afectación de la infraestructura.
7. Para la amenaza intrínseca de falla por depreciación. Plan de inversiones de rehabilitación y renovación de toda la infraestructura, con base en el análisis de la vulnerabilidad.
8. Para amenazas antrópicas. Plan de inversiones en seguridad y canales de comunicaciones autónomo para la persona prestadora del servicio.

En este sentido, debe tenerse en cuenta que el plan de mitigación de las vulnerabilidades es la herramienta de soporte de la gestión del riesgo en cuanto a las medidas de control, por lo que deberá generarse un indicador de seguimiento del plan que contenga los siguientes elementos:

1. Valor global del Indicador dependiendo de la métrica definida para la vulnerabilidad.
2. Medición cuantitativa de la posible población afectada.
3. Medición de la evolución de la gestión mediante la valoración de las actividades relacionadas con la planeación, el diseño y la ejecución de las obras de inversión y la puesta en marcha de los sistemas con las respectivas protecciones.

### 10.3.3 Planes de contingencia

Como elemento final de la gestión del riesgo, se debe estructurar un plan de contingencias, como el elemento operativo de corto plazo que apoye las medidas de control de largo plazo que se deben ejecutar y por lo tanto debe tener en cuenta todos los agentes presentes en la operación y servicio del sistema: usuarios, comunidad en general, autoridades, persona prestadora del servicio y regulador.

Los planes de contingencias son una colección articulada de procedimientos estrictamente definidos que determinan las acciones, reacciones, protocolos de comunicaciones ante eventos de amenazas y fallas del sistema.

En esencia hay tres elementos críticos que deben reunir los planes de contingencia:

1. Los procedimientos de acción para solucionar las fallas del sistema.
2. Los protocolos de comunicaciones para informar a los usuarios, a las autoridades, a los entes reguladores, a las autoridades de salud y así definir las alarmas tempranas.
3. El análisis de los eventos y seguimiento a la evolución de los mismos.

De esta manera, el plan de contingencias debe conformar un documento que proporcione toda la descripción de los procedimientos y protocolos de operación. Este documento debe ir acompañado de la evaluación periódica de la aplicabilidad de los procedimientos, mediante indicadores de gestión de la efectividad de los mismos, que midan la velocidad de respuesta y el control del riesgo realizado, y la capacidad de restablecer las condiciones óptimas de operación, es decir, la resiliencia tanto de la persona prestadora del servicio como del sistema mismo.

## 10.4 Gestión, análisis del riesgo y de la vulnerabilidad de la calidad del agua en sistemas de acueducto

En este caso, los riesgos deben estar relacionados con pérdidas y sus efectos, tanto para los usuarios como para los operadores. De esta manera, el análisis de las vulnerabilidades se hace sobre los procesos inherentes al servicio de acueducto, más que sobre la infraestructura, ya que las desviaciones y los problemas generados en la calidad del agua, están relacionados con la gestión, y la operación de la infraestructura existente.

### 10.4.1 Riesgos asociados a la calidad del agua

Con base en lo citado en los literales B.10.2 y B.10.3 de este Título, el análisis para el caso de los respectivos riesgos asociados a la calidad del agua, debe contener los siguientes eventos que generan pérdidas para la sociedad y que deben ser controlados:

**Tabla B. 10.2 Estructura de riesgos asociados a la calidad del agua en sistemas de acueducto**

Riesgos Generales	Especificaciones de Riesgo	Possible Valoración del Riesgo
Salud Humana	Enfermedades de transmisión digestiva agudas-Relacionadas con sustancias bacterianas o virales que producen efectos inmediatos que pueden ser detectados y tratados. Como caso particular E. Coli.	Costos asociados a la atención en Salud para tratamientos convencionales de enfermedades tratables y curables oportunamente.
	Enfermedades de transmisión digestiva crónicas-Relacionadas con sustancias que pueden producir alteraciones de la salud de tardía aparición y con difícil tratamiento, relacionadas con sustancias cancerígenas.	Costos asociados a la atención en Salud para tratamientos especializados de posibles enfermedades no curables.
	Eventos de contaminación con sustancias letales.	Caso extremo sin valoración cuantitativa. Pues en el análisis de riesgo debe prevalecer la vida.
Confianza Institucional	Pérdida de la confianza institucional por efectos de cambios en los indicadores organolépticos. Color, Turbiedad, Olor.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Falta de incentivo para el pago del servicio.</li> <li>2. Costos relacionados con demandas.</li> </ol>
Confianza Institucional	Pérdida de la confianza institucional por enfermedades relacionadas con la calidad del agua.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Falta de incentivo del pago por los servicios, Cartera Morosa.</li> <li>2. Presión Social que puede parar operaciones.</li> <li>3. Demandas.</li> </ol>
Costos Operativos	Relacionados con los consumos dejados de facturar por efecto de la distribución de agua con bajos índices de calidad o con contaminantes.	Costos según las tarifas, los costos operativos y demás relacionados.
	Relacionados con el agua requerida para estabilizar el sistema, lavados y drenajes.	
	Relacionados con las operaciones adicionales y de contingencia para estabilizar el sistema, lavados y drenajes.	

## 10.4.2 Toma de muestras-Indicadores del riesgo

Para la cuantificación del riesgo de los efectos sobre la salud humana asociados a la calidad del agua para consumo, deben utilizarse el índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) y el índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano (IRABAm), establecidos en el Decreto 1575 de 2007 expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el Ministerio de la Protección Social, los cuales

sirven como herramienta para la medición de la evolución de la gestión del riesgo. Para la aplicación de estos indicadores se deben seguir los lineamientos de la Resolución 2115 de 2007 y la Resolución 811 de 2008 expedidas por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o las normas que las modifiquen, adicionen o sustituyan.

### 10.4.3 Amenazas a la calidad del agua en sistemas de acueducto

Las amenazas asociadas con los problemas de la calidad del agua son la contaminación, los cambios de la calidad del agua en las fuentes y fallas operativas propias del sistema de acueducto. Estas amenazas se especifican según los riesgos anteriormente planteados.

En la siguiente tabla se presenta un resumen del análisis de las posibles amenazas relacionadas con la calidad del agua, las condiciones generales, los eventos específicos y los criterios para la definición de los impactos y las probabilidades de ocurrencia.

Tabla B. 10.3 Amenazas de la calidad del agua en sistemas de acueducto

Amenaza Genérica	Amenaza Específica	Nivel de Impacto-Probabilidad de Ocurrencia
Descargas Contaminantes Bacterianas Cancerígenas Letales	Descargas de aguas residuales aguas arriba de los cuerpos de abastecimiento	El impacto debe ser medido con base en el nivel de contaminación y los tamaños de los asentamientos humanos respectivos.
	Fugas de aguas residuales en alcantarillados afectando el sistema de acueducto	El impacto depende del tipo de sistema de alcantarillado, de su estado de fugas y de la interferencias entre los sistemas, además se debe tener en cuenta la probabilidad de ocurrencia.
	Descargas de contaminantes sobre los cuerpos de abastecimiento	Este impacto depende de la sustancia contaminante y sus riesgo inherentes. Se debe tener en cuenta la probabilidad de ocurrencia.
	Descargas de contaminantes sobre el sistema de distribución	Este impacto depende de la sustancia contaminante y sus riesgo inherentes. Se debe tener en cuenta la probabilidad de ocurrencia.
Cambios en la calidad del agua cruda en los cuerpos de abastecimiento (Cuenca-Acuíferos-Ríos)	Cambios súbitos en la calidad del agua cruda en los cuerpos de abastecimiento	El impacto depende de la hidrología propia de la cuenca y su calidad del agua.
	Cambios paulatinos y sostenidos de la calidad del agua cruda sobre los cuerpos de abastecimiento.	El impacto depende la hidrología de largo plazo de la cuenca, de los agentes externos asentados sobre la cuenca y el cambio climático.

Amenaza Genérica	Amenaza Específica	Nivel de Impacto-Probabilidad de Ocurrencia
Fallas operativas sobre el sistema de acueducto	Desviaciones en las dosificaciones de tratamiento	El impacto debe tener en cuenta cada proceso del tratamiento.
	Desviaciones en las operaciones de tratamiento	El impacto debe tener en cuenta cada proceso del tratamiento.
	Cambios de esquemas de operación de la distribución que pueden producir cambios en los indicadores organolépticos.	El impacto depende de la estructura del sistema y de la operación hidráulica y del comportamiento de los indicadores organolépticos de la calidad del agua.
	Apertura-Cierre de válvulas que pueden producir cambios en los indicadores organolépticos.	El impacto depende de la operación hidráulica propia del sistema.
	Operaciones de mantenimiento	El impacto depende de la estructura del sistema y de la operación hidráulica.

#### 10.4.4 Análisis de la vulnerabilidad del sistema ante eventos de falla de la calidad del agua

La vulnerabilidad del sistema ante los eventos de falla de la calidad del agua está relacionada, en su mayoría, a las condiciones operativas y de gestión del sistema. Esto implica que cada evento causante de falla debe relacionarse con algún macro-proceso de abastecimiento, tratamiento y distribución. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que las amenazas tienen efectos en cadena sobre los demás procesos.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del análisis de las vulnerabilidades que se deben plantear, relacionadas con los macro-procesos de los sistemas de Acueducto.

**Tabla B. 10.4 Esquema de vulnerabilidades de sistemas de acueducto para el mantenimiento de la calidad del agua**

Macroproceso	Proceso-Sistema	Vulnerabilidad
Proceso de Abastecimiento	Sostenimiento de las cuencas-ríos-acuíferos	Falta de planeación y gestión.
	Monitoreo calidad agua cruda-cuencas-ríos-acuíferos	Falta de gestión y medición.
	Monitoreo de la hidrología de los cuerpos de abastecimiento-cuencas, ríos, acuíferos.	Falta de medición, seguimiento y estudios periódicos.
	Captación del agua cruda-bocatomas, pozos, embalses, estaciones de bombeo, aducciones.	Falta de medición, mantenimiento.

Macroproceso	Proceso-Sistema	Vulnerabilidad
Proceso de Tratamiento	Proceso de aireación y remoción de hierro.	Falta de flexibilidad para la remoción por fuera de los valores de operación normal o de diseño.
	Proceso de coagulación.	Falta de flexibilidad para la coagulación por fuera de los valores de operación normal o de diseño.
	Proceso de floculación	Falta de flexibilidad para la floculación por fuera de los valores de operación normal o de diseño.
	Proceso de sedimentación.	Falta de flexibilidad para la sedimentación por fuera de los valores de operación normal o de diseño.
	Proceso de filtración.	Falta de flexibilidad para la filtración por fuera de los valores de operación normal o de diseño.
	Proceso de desinfección	Falta de flexibilidad para la desinfección por fuera de los valores de operación normal o de diseño.
	Proceso de control y monitoreo del tratamiento.	Falta de medición y manuales de operación.
	Planes de contingencia.	Falta de aplicabilidad y seguimiento a los planes.
Proceso de Distribución	Proceso de operación general-despacho-bombeos-controles hidráulicos.	Falta de planeación de las operaciones que tengan en cuenta posibles efectos sobre la calidad del agua.
	Proceso de mantenimiento correctivo-preventivo	Falta de mantenimiento de los tanques, en especial los lavados, el mantenimiento de las estructuras de control, y la realización de operaciones sobre el sistema sin tener en cuenta los efectos en la calidad del agua.
	Proceso de sectorización-macromedición.	Falta de flexibilidad para la suplencia del servicio y la medición.
	Proceso de control y monitoreo de la operación.	Falta de medición y seguimiento de los efectos de la operación.
	Proceso de monitoreo y muestreo de la calidad del agua.	Falta de medición, adecuados puntos de toma de muestras, Gestión del seguimiento y análisis periódico.
	Planes de contingencia	Falta de protocolos de comunicación y alarmas tempranas para establecer acciones inmediatas.

Al respecto de la calidad del agua, para el análisis de la vulnerabilidad se debe realizar una matriz que correlacione los eventos críticos con los esquemas de operación del sistema. Esta matriz deberá tener en cuenta los siguientes criterios al respecto de eventos críticos:

1. Disminución de la calidad del agua en las cuencas de las fuentes de abastecimiento.

2. Fallas en el tratamiento.
3. Condiciones hidráulicas y operacionales en la red de distribución.
4. Acciones externas de orden público.

Para esta agrupación de eventos críticos, se deberán analizar las posibles variaciones de la calidad del agua y determinar aquellas que están por fuera de la normativa vigente (Decreto 1575 de 2007) para así valorar los niveles de vulnerabilidad de la calidad del agua en todo el sistema de acueducto, de acuerdo con los elementos del mismo y su operación.

## 10.4.5 Análisis, evaluación y valoración del riesgo en calidad del agua

El análisis del riesgo, su evaluación y su consecuente valoración se inicia con el proceso de categorización del mismo, como se indica en el literal B.10.2 de este Título. Los lineamientos a tener en cuenta en el análisis son:

1. La categorización de los riesgos asociados a los problemas de la calidad del agua.
2. Desarrollar la definición de las amenazas internas y externas a los macro-procesos y procesos del sistema de acueducto y los análisis de las vulnerabilidades de los procesos, con base en los riesgos asociados a la calidad del agua.
3. Se debe realizar el análisis de valoración de los riesgos, cruzando amenazas y vulnerabilidades, el análisis de las medidas de control y así los impactos en los riesgos residuales.
4. Definición de las medidas de control más ajustadas desde el punto de vista operacional, institucional y estratégico mediante la formulación del mapa de gestión del riesgo y la política general de gestión del riesgo.

## 10.4.6 Mapa de riesgo de la calidad de agua para consumo humano

El Mapa de riesgo de la calidad de agua para consumo humano se debe obtener siguiendo los procedimientos establecidos en la Resolución 4716 de 2010 expedida por los Ministerios de la Protección Social y Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o la norma que la modifique, adicione o sustituya.

El Mapa de Gestión del Riesgo para la Calidad del Agua, se debe formular con base en los macro-procesos y los procesos respectivos, descritos anteriormente, para lo cual se deben seguir los lineamientos del literal B.10.3.1 de este Título.

## 10.4.7 Medidas de control-planes de mitigación-planes de contingencia

Las medidas de control del riesgo en el tema calidad del agua, deben ser acciones encaminadas a la optimización de la operación de los procesos, no solo para que estos sean capaces de reaccionar a los cambios en las condiciones de entrada, sino que puedan tener las herramientas de auto monitoreo y control para dar las alarmas tempranas con mayor efectividad; en todos los casos las diferentes medidas de control se deben asociar a los tres macro-procesos del sistema de acueducto (abastecimiento, tratamiento y distribución).

## 10.4.8 Planes de contingencia

En los eventos de calidad del agua, los planes de contingencia deberán estar enfocados a dar las alarmas tempranas, a definir los procedimientos para el restablecimiento de las condiciones óptimas de la prestación del servicio, y a definir el protocolo de comunicaciones, finalmente, a definir los lineamientos para el análisis de los eventos y los indicadores de seguimiento de los planes. Deberán incluir como mínimo procedimientos de aviso, protocolos de comunicaciones con las diferentes autoridades, líneas de mando y autoridades de salud, procedimientos para el restablecimiento de la operación óptima del sistema y los procedimientos de análisis de los eventos de falla, con la validación de los efectos mediante simulaciones hidráulicas, los análisis de las operaciones realizadas en un esquema causa-efecto y la determinación de las oportunidades de mejora.

# TÍTULO B

## SISTEMAS DE ACUEDUCTOS

SISTEMAS DE AGUA

## BIBLIOGRAFÍA

- ALAIX, A., ESNEDA M. Procuraduría General de la Nación. Mapa de Riesgos Institucional. Oficina de Control Interno. 2006 Imprenta Nacional de Colombia.
- ALTERDORF, Matthias. Medición de caudal: Guía práctica: Tecnologías de medición-Aplicaciones-Soluciones. Primera edición. Barcelona: Endress+Hauser, 2005. 413p.
- AROCHA R. Simón. Abastecimientos teoría y diseño de agua. Redes de distribución. Ediciones vega. 55p.
- ASCE. Gravity Sanitary Sewer Design and construction. En: Manual of practice No. 60. NewYork: American Society of civil engineers, 1982
- AWWA M23-PVP PIPE DESIGN AND INSTALLATION. 1980
- AWWA M-31 (1998). Distribution System Requirements for Fire Protection
- BALAIRON PÉREZ, Luis. Gestión de recursos hidricos. Recuperado el 02 de junio de 2009, de google books:<http://books.google.es/books?id=wPe4Hay95wUC&pg=RA1-PA274&dq=dstancia+m%C3%ADnima+entre+pozos&lr=#PPA6,M1>
- BALLESTEROS CHAPARRO, V. Diseño de pozos profundos. Recuperado el 01 de junio de 2009, de google books:[http://books.google.es/books?id=jIxviaSDn90C&pg=PA33&dq=revestimiento+%26+pozos&lr=&as\\_brr=3#PPP1,M1](http://books.google.es/books?id=jIxviaSDn90C&pg=PA33&dq=revestimiento+%26+pozos&lr=&as_brr=3#PPP1,M1)
- BOUWER, Herman. Groundwater Hydrology. New York: McGraw-Hill, Inc, 1978. P103.
- CANAL DE ISABEL II. Normas para el abastecimiento de agua revisión 2004: Diseño de un abastecimiento 35p. (NAACYII-2004).
- Captación y conducción de agua para consumo humano. (s.f.) Recuperado el 30 de abril de 2009, de: [http://www.ing.udep.edu.pe/civil/material/vial/Bibliografia/Reglamento\\_nacional\\_de\\_edificaciones/OS.010.pdf](http://www.ing.udep.edu.pe/civil/material/vial/Bibliografia/Reglamento_nacional_de_edificaciones/OS.010.pdf)
- Captaciones de aguas superficiales. (s.f.). Recuperado el 28 de abril de 2009, de: [http://www.siss.cl/articles-5853\\_recurso\\_11.pdf](http://www.siss.cl/articles-5853_recurso_11.pdf)
- CARVAJAL, Luis F. Simulación de un lavado hidráulico en tuberías para el control del crecimiento de biopelícula. En: scielo.org. [en línea]. [consultado 21 de mayo de 2009]. Disponible en <<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v74n152/a06v74n152.pdf>>

- CEPIS/OPS. Especificaciones técnicas para el diseño de captaciones por gravedad de aguas superficiales. Recuperado el 28 de abril de 2009, del sitio web de cepis: <http://www.cepis.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/e115-04disenocapta.pdf>
- CEPIS/OPS. Especificaciones técnicas para la construcción de captaciones de agua superficiales. Recuperado el 28 de abril de 2009, del sitio web de cepis: <http://www.cepis.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/e114-04construccapta.pdf>
- CEPIS/OPS. Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Recuperado el 14 de mayo de 2009, del sitio web de cepis: <http://www.cepis.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>
- COLOMBIA, Departamento Administrativo de la Función Pública. Código civil colombiano. [en línea]. [Consultado 11 marzo 2009]. Disponible en [http://www.dafp.gov.co/leyes/C\\_CIVIL.HTM](http://www.dafp.gov.co/leyes/C_CIVIL.HTM)
- COLOMBIA, Ministerio del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, OPS, Servicio Nacional de aprendizaje SENA. Perforación manual de pozos profundos de pequeño diámetro. Capítulo 5 Prevención y contaminación de equipos. [en línea] Bogotá; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2003. 58 p. Consultado 30 abril 2009]. Disponible en: <<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsapi/fulltext/perforacion/perforacion.html>>
- COLOMBIA. Proyecciones de población municipales por área 2005-2009 a junio 30. [base de datos en línea]. [Consultado 27 de feb. 2009]. Disponible en <[http://www.dane.gov.co/index.php?option=com\\_content&task=category&sectionid=16&id=497&Itemid=995](http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=16&id=497&Itemid=995)>.
- COMISIÓN DE REGLAMENTOS TÉCNICOS Y COMERCIALES – INDECOPI. Norma metrologica peruana: Medición de flujo de agua en conductos cerrados. Lima: 1996. 20p. (NMP-005-1)
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA “Consumo Básico o de Subsistencia en el Servicio de Acueducto y Alcantarillado”, BORRADOR
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Datos básicos. México D.F.: 2001. (NT-002-CNA-2001).
- COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN DELIOES. Norma de diseño para abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural: Sistemas de agua potable. 43p. (NORMA CO 10.7-602 REVISIÓN).

- CORCHO ROMERO Freddy Hernán, DUQUE SERNA José Ignacio, (1997). Acueductos Teoría y Diseño. Medellín, Antioquia, COLOMBIA: Editorial Universidad de Medellín.
- CHANSON, Hurbert. The hydraulics of open channel flow: an introduction: Design of Hydraulic Structures. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004, 2 ed. 437p.
- CHIN. David A. (2006) Water Resources Engineering: section 2.5 Design of Water-distribution Systems. New Jersey: Editorial Pearson Prentice Hall. 962 p.
- CHOW, Ven Te. Hidráulica de canales abiertos. Santafé de Bogotá, McGRAW-HILL, 1994. 155p
- EAAB. Norma técnica de servicio. Procedimientos para diseño de conducciones y líneas expresas. Bogotá, 2003. 12 p. (NS-052).
- Ellison D. 2003. Investigation of Pipe Cleaning Methods. AWWA Research Foundation and American Water Works Association. 2P-2C-9038-9/03-CM.
- ELLISON, Dan; DURANCEAU, Steven. INVESTIGATION OF PIPE CLEANING METHODS Denver, CO: AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 2003
- EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLIN E.S.P. Normas de diseño de sistemas de acueducto para las empresas públicas de Medellín E.S.P. Medellín: Copyright © 2006, E.E.P.P.M E.S.P. 2006. 3-58p
- En bvsde. [en línea]. [consultado 19 de mayo de 2009]. Disponible en <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/010439/010439-04.pdf>>
- EPA. Water Distribution System Analysis: Field Studies, Modeling and Management. [en línea] 2005 [Consultado en marzo de 2009] Disponible en: <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r06028/600r06028prelithruchap4.pdf>
- ESSAI DE POMPAGE. NF P 94-130. Sols: reconnaissance et essais. En: norme française. l'association française de normalisation (adfnor). [en línea]. 1er tirage 92-09. (Septiembre 1992). Disponible en <http://www.sisyphe.upmc.fr/~jost/documents/norme-pompage.pdf>
- FACULTAD REGIONAL BAHÍA BLANCA. Capítulo 5. Conducciones de agua cruda y agua tratada. Recuperado el 17 de marzo de 2009, del sitio web frbb.utn.edu.ar: [http://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/images/stories/frbb/materias/ingenieria\\_sanitaria/TEMA%205%20segunda%20parte.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/images/stories/frbb/materias/ingenieria_sanitaria/TEMA%205%20segunda%20parte.pdf)

- FREEZE, Allen and CHERRY, John A., Groundwater. Englewood Cliffs, New Jersey. Prentice Hall, Inc. 1979, Pág. 326.
- FRENCH, Richard. Open-channels hydraulics. 1<sup>a</sup> Edición. 1985. 705 p.
- GONZALES FRANCO, Cesar A. Pérdidas en filtros para pozos profundos en 8" y 10" recarga. Bogotá, 1998, 33p. Tesis (Ingeniero Civil). Universidad de los Andes. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería civil y ambiental.
- GUEVARA A. M. E. Flujo a presión. Recuperado el 19 de marzo de 2009, del sitio web de Unicauca: <http://atenea.unicauca.edu.co/~hdulica/fpresion.pdf>
- Guías para la calidad del agua potable Vol. 3. [En línea]. <[http://books.google.com.co/books?id=X9QgncMbnSYC&pg=PA55&lpg=PA55&dq=pozos+excavados&source=bl&ots=nAL3LFkL7h&sig=MHOWwZ0sIxSMI8LssnkqBwXcn0w&hl=es&ei=Pun-SZrzKo3cyAWK8dGrBA&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=9#PPP1,M1](http://books.google.com.co/books?id=X9QgncMbnSYC&pg=PA55&lpg=PA55&dq=pozos+excavados&source=bl&ots=nAL3LFkL7h&sig=MHOWwZ0sIxSMI8LssnkqBwXcn0w&hl=es&ei=Pun-SZrzKo3cyAWK8dGrBA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=9#PPP1,M1)>
- Hidrología. (s.f.). Recuperado el 28 de abril de 2009, de: <http://www.planning.org/planificacion/2/4.htm>
- HORN, H. et al. (2003) Simulation of growth and detachment in biofilm systems under defined hydrodynamic conditions. *Biotechnology and bioengineering*, 81(5), 607-617.
- HOWARD Guy. Heatly Villages A guide for communities and community health workers: Chapter 3 Water. En: Water supply, sanitation and hygiene development. [en línea]. World Health Organization Library Cataloguing-in-Publication Data (2002). [Consultado 13 marzo 2009]. Disponible en <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/hygiene/settings/hvchap3.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/settings/hvchap3.pdf)>
- HOWARD, G. GODFREY S. y BOONYAKARNKUL T. Water Resources: Chapter 18 Groundwater. En: Water Sanitation Health. [En línea]. World Health Organization, ]. World Health Organization Library Cataloguing-in-Publication Data . Numeral 18.4.3 p. 8. [Consultado 13 marzo 2009]. Disponible en <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/resourcesquality/en/groundwater18.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/en/groundwater18.pdf)>
- Implementación de nuevas tecnologías en la explotación de acueductos. La experiencia AAA. (s.f.). Recuperado el 18 de marzo de 2009, de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/REPDOM/aaa.pdf>
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Formatos y escalas de mapas. [consultado 22 de mayo de 2009]. Disponible

- en <[http://www.igac.gov.co:8080/igac\\_web/contenidos/plantilla\\_anclasDocs\\_cont\\_contDocs.jsp?idMenu=34](http://www.igac.gov.co:8080/igac_web/contenidos/plantilla_anclasDocs_cont_contDocs.jsp?idMenu=34)>
- INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS (INAA). Norma técnica para el diseño de abastecimiento y potabilización del agua: Diseño hidráulico de los sistemas de conducción y distribución del agua. 1989.
  - ISO. GUIDE FOR DETERMINATION OF NEEDED FIRE FLOW. 2005 [EN LÍNEA] [CONSULTADO MARZO 4 DE 2009] DISPONIBLE EN: <http://www.fire-flows.com/iso.pdf>
  - JANSEN, Robert B (1988). Advanced dam engineering for design, construction, and rehabilitation p. 485. Editorial Springer.
  - LEY 373 DE 1997, Por la cual se establece el Programa para el Uso Eficiente de Agua Potable.
  - LIOU, Chyr Pyng. Limitations and Proper Useof the Hazen - Williams Equation. En: Journal of hydraulic engineering, Moscow:(11, september,1998); 951-954p
  - LÓPEZ CUALLA, Ricardo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados: Obras de captación. Segunda edición. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería, 2003. 87p.
  - LOTHAR HESS, Max. Tratamientos preliminares. En bvsde. [en línea]. [consultado 19 de mayo de 2009]. Disponible en <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/010439/010439-04.pdf>>
  - Manual de instrucción para mantenimiento en campo. (s.f) Recuperado 05 de marzo de 2009, de [http://www.urbaca.com.mx/catalogosesp/Urbaca\\_valve\\_Blue\\_b\\_new.pdf](http://www.urbaca.com.mx/catalogosesp/Urbaca_valve_Blue_b_new.pdf).
  - MANUAL DE PROYECTOS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN POBLACIONES RURALES. Ing. Eduardo García Trisolini Lima, mayo 2008.
  - MATERON M, Hernán (1991). Obras hidráulicas rurales. Obras de Captación. Cali: Universidad del Valle 3.1p
  - MAYS, Larry W. Manual de Sistemas de Distribución de agua: Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A. U., 2002.
  - McGHEE, Terence J. Abastecimiento de agua y alcantarillado: Ingenieria ambiental. McGraw-Hill. 108p
  - MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS. Reglamentos técnicos de diseño para sistemas de agua potable vol 1 de 2. Reglamento técnico de estudios y parámetros básicos de diseño para sistemas de agua potable. La Paz, diciembre de 2007. 21p. (NB 689).

- Ministry of Urban Development. Manual on Water Supply and Treatment: Manual on Operation and Maintenance of Water Supply Systems. 3 ed. New Delhi: 1999.
- Modelo para la cuantificación y desagregación de las pérdidas en sistemas de agua potable, J. C. Vindas V, Revista Evolución-Vol 3-No 1-2005. Recuperado 19 de febrero de 2009, en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/aya/vindas.pdf>.
- MUÑOZ, L.F. Velocidad de desprendimiento de las biopelículas en tuberías de distribución de agua potable. En: uniandes.edu.co. [en línea].[consultado 21 de mayo de 2009]. Disponible en <[http://guaica.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/692/1/MI\\_ICYA\\_2004\\_009.pdf](http://guaica.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/692/1/MI_ICYA_2004_009.pdf)>
- OCHOA A. Leonel. Métodos y sistemas de medición de gasto. Recuperado el 06 de abril de 2009, En: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Fundamentos.pdf>
- OPS/CEPIS /OMS. Especificaciones técnicas para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural. Lima 2004. Recuperado el 18 de marzo de 2009, del sitio web de bvsde.paho.org: <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/e106-04Construcimpuls.pdf>
- OPS/OMS/COSUDE. Guía para la selección equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural. Recuperado el 20 de abril de 2009, del sitio web de bvsde:<http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/miscela/guiaselequiposbombeo-rural.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). Emergencias y desastres en sistemas de agua potable y saneamiento: Guía para una respuesta eficaz. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. División de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en Emergencias y Desastres. 2001.
- OSMAN AKAN A. 2003. Open channel hydraulics. Primera edición. Oxford: Elsevier. 161p.
- Perforación de pozos. (s.f). Recuperado el 20 de mayo del 2009, de: <<http://www.panamacompra.gob.pa/documentosconvertidos/2007-0-04-045-07-CM-000858-ET.PDF>>
- Pimienta, J. La captación de aguas subterráneas. Recuperado el 01 de junio de 2009, de googlebooks:[http://books.google.es/books?id=OPj61eak4ycC&pg=PA97&dq=aguas+subterráneas+%26+sondeos&as\\_brr=3#PPP1,M1](http://books.google.es/books?id=OPj61eak4ycC&pg=PA97&dq=aguas+subterráneas+%26+sondeos&as_brr=3#PPP1,M1)

- PIZZI, N. Optimizing Distribution Systems Operations. Cleveland Division of Water, Cleveland, OH En: Opflow, Noviembre Vol 22 Num 11, 1996. Pp 4-6 Citado por: Carvajal et al. Simulación de un Lavado Hidráulico en Tuberías Para el Control del Crecimiento de Biopelicula. En: Dyna, Año 74, Nro. 152, pp 63-72. Medellín, Julio de 2007.
- Presiones. (s.f). Recuperado el 04 de Marzo de 2009, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/011632/011632-03.pdf>
- Proyecto de reducción de pérdidas de agua potable y reforma del marco regulador, Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), junio de 2007.
- REYES DEL TORO, Paula. Aspectos hidráulicos para el lavado de redes de distribución de agua potable. Estado del arte. Bogotá 2004, 75p. Tesis. Universidad de los Andes. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería civil y ambiental.
- REYNOLDS VARGAS, Jenny. Manejo integrado de aguas subterráneas un reto para el futuro. Recuperado el 02 de junio de 2009, de google books: <http://books.google.es/books?id=1tHLuRaqBzEC&pg=PA294&dq=distancia+m%C3%ADnima+entre+pozos#PPP1,M1>
- RODGER, C., PETCH, J. Uncertainty and Risk Analysis a practical guide from business dynamics. PriceWatterHouse Coopers. April 1999.
- RODRIGUEZ, Fernando. BENDAYAN, León. ROJAS, Carlos. (1994) Estudios de inventario y evaluación de suelos en la región de Loreto. Documento técnico N° 06. Iquitos, Perú. [en línea] Consultado el 20 de mayo de 2009. En: <<http://www.iiap.org.pe/Publicaciones/CD/documentos/ST006.pdf>>
- SALDARRIAGA, Juan. Hidráulica de Tuberías Abastecimiento de Agua, Redes, Riegos: Ecuaciones empírica para la fricción en tuberías. Bogotá: Alfaomega, 2007. 155p
- SANCHEZ MONTENEGRO, Hernando. Ingeniería de acueductos y tratamiento de aguas: Captación de aguas superficiales. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. 101p
- SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL – DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS – DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN – SUBDIRECCIÓN DE METROLOGIA. Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos-Medidores para agua potable fría-Especificaciones. México D.F: 199. (NOM-012-SCFI-1994)

- SILVA GARAVITO, Luis F. Diseño de acueductos y alcantarillados: Abastecimiento de aguas. Primera edición. 33p
- SUSUMU Kawamura (2002). Integrated design and operation of water treatment facilities. 2a Edición. Editorial John Wiley and Sons. 691 p.
- US Bureau of Reclamation, 1987; Agostini et al., 198
- WALSKI, Thomas M., et al. Advanced water distribution modeling and management: Operations. Bentley Institue Press. 456p.
- WATER FOR THE WORLD. Designing Hand Dug Wells. Technical Note No. RWS 2.D:1. Disponible en: <<http://www.bvsde.paho.org/eswww/tecpropriada/otratec/waterwor/rws2d1.pdf>>

SISTEMA DE UNIDADES	
Aceleración	
m/s <sup>2</sup>	Metros por segundo cuadrado
Ángulo Plano	
°	Grados
Área	
cm <sup>2</sup>	Centímetro cuadrado
Ha	Hectárea
Km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
Caudal	
L/h	Litro por hora
L/s	Litro por segundo
m <sup>3</sup> /s	metros cúbicos por segundo
Concentración	
mg/L	Miligramo por litro
ppm	Partes por millón
mmol/kg	Milimol por kilogramo
Densidad	
kg/m <sup>3</sup>	Kilogramo por metro cúbico
Esfuerzo	
KPa	Kilopascal
GPa	Gigapascal
MPa	Megapascal
Pa	Pascal
Fuerza	
N	Newton
KN	Kilonewton
T	Tonelada
Longitud	
m	Metro
Km	Kilómetro
mm	Milímetro
Masa	
g	Gramo
mg	Miligramo
kg	Kilogramo
t	Tonelada
Población	
hab	Habitante

SISTEMA DE UNIDADES	
Potencia	
KW	Kilowattio
W	Wattio
Potencial eléctrico	
KV	Kilovoltio
Presión	
KPa	Kilopascal
MPa	Megapascal
Pa	Pascal
m.c.a	Metros de altura piezométrica de agua
Resistividad	
$\Omega$	Ohmios
Temperatura	
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
$^{\circ}\text{K}$	Grados Kelvin
Tiempo	
año	Año
día	Día
h	Hora
min	Minuto
s	Segundo
Velocidad	
m/s	Metros por segundo
Viscosidad	
Pa•s	Pascals por segundo
Volumen	
cm <sup>3</sup>	Centímetro cúbico
L	Litro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
Otras	
L/ (hab•día)	Litro por habitante por día
m <sup>2</sup> /m	Metro cuadrado por metro
dB	Decibel

## VARIABLES

$\%p$	= porcentaje de pérdidas (entre 0 y 1)	-
$\%Pc$	= porcentaje de pérdidas comerciales	-
$a$	= celeridad de la onda de presión	m/s
$a$	= área del desagüe	$m^2$
$A$	= área superficial del tanque	$m^2$
$A_e$	= área efectiva de rejilla por metro de rejilla	$m^2/m$
$A_i$	= área de influencia o área abastecida por el nodo i	ha
$A$	= coeficiente de la ecuación de la bomba	-
$b$	= separación entre barras	m
$b$	= espesor del acuífero	m
$b'$	= espesor de la semiconfinante	m
$B$	= ancho de canal	m
$B$	= coeficiente de la ecuación de la bomba	-
$B$	= factor de goteo del acuífero	m
$c$	= concentración de cloro	mg/L
$c$	= resistencia hidráulica de la capa semiconfinante	s
$c_w$	= concentración de cloro en la pared de la tubería	
$C_{ij}$	= concentración de cloro que entra del nodo i al nodo j	mg/L
$C_{ij@x=0}$	= concentración al inicio de la tubería que conecta el nodo i al nodo j	mg/L
$C_{kj@x=L}$	= concentración al final de una tubería	mg/L
$C_{ks}$	= concentración de cloro en las tuberías	mg/L
$C_s$	= concentración final de cloro en el agua que sale del nodo j	mg/L
$C_s$	= concentración en el tanque	mg/L
$C$	= coeficiente de la ecuación de la bomba	-
$C$	= coeficiente de Hazen Williams	-
$C_D$	= coeficiente de arrastre	-
$d$	= diámetro de la partícula de arena	m
$d$	= longitud saliente de la tubería en una junta	m
$d$	= difusividad molecular del cloro en el agua	$m^2/s$
$D$	= densidad de población	hab/ha
$D$	= diámetro interno real de la tubería	m
$De$	= diámetro económico interno de la tubería	m
$D_{75}$	= tamaño de partículas para el cual el 75% del material es más fino que este tamaño.	mm
$d_{bruta}$	= dotación bruta	L/hab•día
$dt$	= cambio en el tiempo	s
$dV_s$	= cambio en el volumen del tanque	$m^3$

## VARIABLES

$dy/dx$	= cambio de la profundidad de flujo con respecto al eje longitudinal de análisis	m/m
$dc/dt$	= tasa de cambio de la concentración de cloro en el tiempo	mg/L•s
$d_{neta}$	= dotación neta	L/hab.dia
$e_p$	= espesor de la pared de la tubería	m
$E$	= módulo de elasticidad del material de la tubería	Pa
$E$	= escape permitido	L/h
$E_p$	= módulo de compresibilidad del líquido	GPa
$E$	= eficiencia del resalto	%
$E_1$	= energía específica aguas arriba del resalto	m
$E_2$	= energía específica aguas abajo del resalto	m
$f$	= coeficiente de fricción de Darcy	-
$Fr$	= número de Froude	-
$g$	= aceleración de la gravedad 9.81	$m^2/s$
$h$	= altura piezométrica sobre el desagüe	m
$h$	= altura del escalón	m
$h_f$	= pérdida de altura debida a la fricción	m
$H$	= altura dinámica total	m
$H_1$	= máxima altura o altura piezométrica disponible	m
$H_m$	= altura piezométrica de pérdidas menores	m
$H_c$	= energía específica para la condición de flujo crítico	m
$H_e$	= incremento de altura debido a las pérdidas de energía	m
$H_i$	= altura piezométrica de entrada suministrada por el embalse i	m
$H_{es}$	= altura estática de succión	m
$H_j$	= presión con la cual se satisface la demanda $Q_j$	m
$H_T$	= diferencia topográfica máxima	m
$H_j$	= máxima altura disponible aguas arriba de la estructura	m
$H^*$	= presión mínima requerida en cada uno de los nodos de consumo	m
$Ir$	= índice de resiliencia	-
$k$	= relación de esfuerzo cortante crítico	-
$k_1$	= coeficiente de consumo máximo diario	-
$k_2$	= coeficiente de consumo máximo horario	-
$k_b$	= coeficiente de reacción con el volumen de agua	$s^{-1}$
$k_w$	= coeficiente de reacción con la pared de la tubería	$s^{-1}$
$k_f$	= coeficiente de transferencia de masa	$m/s$
$k_s$	= rugosidad absoluta de la tubería	m
$k_{ij}$	= coeficiente de decaimiento entre los nodos i y j	$s^{-1}$

VARIABLES		
$K$	= capacidad del sistema	-
$K$	= conductividad hidráulica del acuífero	m/s
$K'$	= conductividad hidráulica de la capa semiconfinante	m/día
$k_m$	= coeficiente de pérdida menor	-
$K_r$	= conductividad hidráulica radial (horizontal) del acuífero	m/día
$K_z$	= conductividad hidráulica vertical del acuífero	m/día
$l$	= longitud del escalón	m
$L$	= longitud total de la tubería	m
$L_d$	= longitud de la caída	m
$L_{min}$	= longitud mínima de la rejilla	m
$l_j$	= distancia entre juntas	m
$m$	= coeficiente de contracción del desague	-
$n_n$	= número total de nodos en la red	-
$n_e$	= número de embalses	-
$n_{pu}$	= número de bombas en la red	-
$N$	= número de escalones	-
$NPSH$	= altura neta de succión positiva	m
$P$	= número de suscriptores proyectados	suscriptores
$P$	= número de habitantes proyectados	hab
$P_{diseño}$	= presión de diseño	m.c.a
$P_{estática}$	= presión estática	m.c.a
$P_{max}$	= presión máxima entre la presión estática y la presión transiente	m.c.a
$P_{transiente}$	= presión causada por fenómenos transientes	m.c.a
$P$	= presión de ensayo hidráulico	Pa
$P$	= potencia requerida por la bomba	W
$P_{atm}$	= presión atmosférica	Pa
$P_v$	= presión de vapor del agua	Pa
$P_{programada}$	= presión programada en el dispositivo	m.c.a.
$P_{salida VRP}$	= presión normal de salida de la válvula reguladora de presión	m.c.a.
$P_{actualp.critico}$	= presión actual en el punto crítico de la red aguas abajo de la VRP a una hora determinada.	m.c.a.
$P_{deseadap.critico}$	= presión mínima en el punto crítico de la red, aguas abajo de la VRP	m.c.a.
$P_i$	= potencia por unidad del peso suministrada por la bomba i	W/kg
$P_{inp}$	= potencia por unidad de peso de entrada	W
$P_{int}$	= potencia por unidad de peso de operación del sistema ocasionada por los efectos de la fricción en las tuberías y la presencia de fugas en el mismo	W/kg
$P_{out}$	= potencia por unidad de peso entregada en los nodos de consumo	W/kg

## VARIABLES

$Q$	= caudal	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q$	= caudal de bombeo	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q$	= caudal de bombeo del pozo	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q$	= caudal extraído del pozo durante el tiempo $\Delta t$	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_a$	= caudal que se extrae del acuífero en el intervalo $\Delta t$	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_d$	= caudal de diseño	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_e$	= caudal de entrada suministrado por el embalse	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_s$	= caudal proveniente del almacenamiento del pozo durante el tiempo $\Delta t$	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_e$	= caudal específico por unidad de superficie	$\text{L/s/Ha}$
$Q_i$	= caudal de consumo en el nodo i	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_j$	= demanda en el nodo j	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_{ij}$	= caudal que fluye del nodo i al nodo j	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_{kj}$	= caudal desde k a i	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_{ks}$	= caudal desde el nodo k al s	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_{sj}$	= caudal desde el nodo s al j	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_m$	= caudal de incendio	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_{md}$	= caudal medio diario	$\text{L/s}$
$Q_{MD}$	= caudal máximo diario	$\text{L/s}$
$Q_{MH}$	= caudal máximo horario	$\text{L/s}$
$q_e$	= caudal de entrada	$\text{m}^3/\text{s}$
$q_s$	= caudales de salida	$\text{m}^3/\text{s}$
$r$	= distancia al punto de observación	m
$r_c$	= radio del revestimiento del pozo en donde cambian los niveles de agua	m
$r_w$	= radio efectivo de la rejilla o del pozo abierto	m
$R$	= radio hidráulico	m
$Re$	= número de Reynolds	-
$s$	= abatimiento	m
$s^\bullet$	= abatimiento corregido m	m
$S$	= coeficiente de almacenamiento	-
$S$	= espesor de las barras	m
$S_H$	= número de Sherwood	-
$S_f$	= pendiente de la línea de energía total	-
$S_o$	= pendiente del fondo del canal	-
$S_y$	= rendimiento eficaz (para tiempos largos $\mu_B$ )	-
$t$	= tiempo	s
$t$	= número de horas de bombeo por día	h/día
$t$	= tiempo desde que empezó el bombeo	s

VARIABLES		
$T$	= tiempo de vaciado en segundos	s
$T$	= transmisividad	$m^2/s$
$v$	= velocidad media del flujo	$m/s$
$v_e$	= velocidad de entrada a la rejilla	$m/s$
$v_s$	= velocidad de asentamiento	$m/s$
$v_{ij}$	= velocidad de flujo en la tubería	$m/s$
$\nu$	= viscosidad cinemática del agua	$m^2/s$
$V$	= volumen de agua en el tanque (tanques)	$m^3$
$V$	= volumen de agua para protección contra incendio	$m^3$
$W(u)$	= función del pozo para acuíferos confinados	-
$x$	= abscisa o distancia horizontal	m
$y$	= profundidad del flujo	m
$y_c$	= profundidad critica	m
$y_1$	= profundidad de agua en el punto de impacto aguas abajo de la caída	m
$y_t$	= profundidad de flujo aguas arriba del resalto hidráulico	m
$y_2$	= profundidad de flujo aguas abajo del resalto hidráulico	m
$y_p$	= profundidad de la piscina	m
$\Delta H$	= pérdida total de altura piezométrica	m
$\Delta z$	= altura de la caída en estructuras de disipación de energía	m
$\Delta s$	= diferencia de abatimiento registrado en el intervalo $\Delta t$	m
$\Delta t$	= Intervalo de medición	s
$\gamma$	= peso específico del agua	$kN/m^2$
$\beta$	= factor de forma	-
$\eta$	= eficiencia de la bomba y el motor	-
$\mu$	= viscosidad absoluta del agua	$Pa \cdot s$
$\mu_p$	= relación de Poisson de un material	-
$\rho$	= densidad del agua	$kg/m^3$
$\rho_s$	= densidad de la partícula de arena	$kg/m^3$
$\tau$	= período del golpe de ariete	s
$\tau_0$	= esfuerzo cortante crítico de arrastre	$N/m^2$
$\tau'_o$	= esfuerzo cortante crítico unitario de arrastre en las bancas del canal	$N/m^2$
$\nu$	= viscosidad cinemática del agua	$m^2/s$
$\phi$	= ángulo del lado inclinado	grados
$\theta$	= ángulo de reposo del material	grados

## ABREVIATURAS

ANSI	American National Standards Institute
API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society of Testing Materials
AWWA	American Water Works Association
CIDET	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico Colombiano
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas
DNP	Departamento Nacional de Planeación
IES	Illuminating Engineering Society
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas
ISO	International for Standardization Organization
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
MPS	Ministerio de la Protección Social
NACE	National Association of Corrosion Engineers
NSR	Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente
NTC	Norma Técnica Colombiana
RAS	Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios

### NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS

Las siguientes son las normas técnicas, tanto expedidas por el ICONTEC, por la AWWA y por la ASTM a las cuales se hace referencia en este Título. En caso de conflicto, prevalecerá lo establecido en las normas técnicas colombianas del presente documento. Así mismo en ausencia de norma colombiana específica, se recomienda recurrir a las normas expedidas por organismos técnicos de reconocimiento internacional.

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS	
GTC 30	Guía para el monitoreo de aguas subterráneas.
NTC 10	Clasificación de tubos de acero.
NTC 11	Tubos de acero al carbono aleado ferrítico y austenítico con y sin costura.
GTC 16	Guía para la selección, diseño e instalación de sistemas de tuberías termoplásticas para agua a presión.
NTC 105	Tubos de acero tipo "EMT", recubiertos de zinc para la conducción y protección de conductores eléctricos -tubería Conduit-.
NTC 277	Motores y generadores eléctricos.
NTC 369	Plásticos. Compuestos rígidos de poli - cloruro de vinilo - rígidos y compuestos clorados de poli - cloruro de vinilo - CPVC -.
NTC 382	Plásticos. Tubos de poli-cloruro de vinilo- -PVC- clasificados según la presión -Serie RDE-.
NTC 487	Manguitos de asbestos – cemento.
NTC 539	Aptitud de tubos y accesorios plásticos para uso en contacto con agua destinada al consumo humano. Requisitos de atoxicidad.
NTC 576	Cementos solventes para tubos y accesorios de PVC.
NTC 664	Determinación del contenido de negro de humo.
NTC 718	Acondicionamiento de plásticos para ensayo.
NTC 747	Tubos de concreto para presión, tipo cilindro de acero con refuerzo de varilla.
NTC 839	Definiciones y clasificación de medidores de agua.
NTC 872	Materiales para moldeo y extrusión de plásticos de polietileno.
NTC 1062	Sistemas de distribución de agua caliente y fría con tubería plástica de poli (cloruro de vinilo) clorado (CPVC).
NTC 1063	Medición de agua en conductos cerrados. Parte 1: Especificaciones - Parte 2: Requisitos para su instalación. - Parte 3: Equipos y métodos de ensayo.
NTC 1125	Determinación de la resistencia al impacto en tubos y accesorios termoplásticos.
NTC 1279	Válvulas de compuertas para sistemas de acueducto y alcantarillado.
NTC 1328	Juntas flexibles para la unión de tubos circulares de concreto.
NTC 1339	Plásticos. Accesorios de poli-cloruro de vinilo – PVC – Schcedule 40.
NTC 1461	Colores y señales de seguridad.
NTC 1483	Detectores de incendio. Clasificación.
NTC 1500	Código Colombiano de Fontanería.
NTC 1522	Ensayo para determinar la granulometría por tamizado.
NTC 1595	Bombas hidráulicas. Definiciones, terminología y símbolos.
NTC 1602	Plásticos. Tubos de polietileno de baja densidad para conducción de agua. Clase 40
NTC 1747	Plásticos. Tubos de polietileno (PE) Especificados por su diámetro interior (RDIE-PM).

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS	
NTC 1762	Válvulas de retención (Cheque) de aleación de cobre.
NTC 1775	Bombas centrífugas, bombas de flujo axial y mixto. Ensayos clase.
NTC 1867	Sistema de señales contra incendio. Instalación y usos.
NTC 1901	Válvulas de accionamiento por flotador.
NTC 1981	Seguridad contra incendios. Señales.
NTC 1991	Flotadores para accionamiento de válvulas.
NTC 2011	Válvulas de acondicionamiento por flotador.
NTC 2050	Código Eléctrico Colombiano.
NTC 2097	Válvulas de compuertas con asiento elástico para agua y sistema de alcantarillado.
NTC 2193	Válvulas de mariposa con asiento elástico.
NTC 2295	Uniones mecánicas con sellos elastoméricos para tubos y accesorios de PVC rígido, en transporte de agua a presión.
NTC 2346	Accesarios en hierro dúctil y/o hierro gris para agua y otros líquidos. Serie inglesa.
NTC 2536	Sellos elastoméricos (empaques) para unión de tubos plásticos.
NTC 2587	Tuberías de hierro dúctil. Acoples y accesorios para líneas de tubería a presión.
NTC 2629	Tubería de hierro dúctil. Revestimiento de mortero-cemento centrifugado. Controles de composición del mortero recientemente aplicado.
NTC 2935	Materiales de polietileno (PE) para tubería y accesorios.
NTC 3257	Determinación de la base del diseño básico hidrostático para tuberías de material plástico.
NTC 3358	Determinación de las dimensiones de tubos y accesorios termoplásticos. (ASTM D 2122)
NTC 3359	Tuberías metálicas, bridas y accesorios con brida para tubos de hierro fundido.
NTC 3409	Plásticos. Accesarios de polietileno (PE) para unión por fusión a tope con tubería de polietileno (PE). Homologación de ASTM-D 3261.
NTC 3410	Plásticos. Accesarios de polietileno tipo campana para tubería de polietileno con diámetro exterior controlado tipo IPS o CTS. (Homologación de ASTM-D 2683).
NTC 3470	Tubos de acero soldados y sin costura, negros y recubiertos de cinc por inmersión en caliente.
NTC 3578	Determinación del tiempo hasta la falla de tubería plástica sometida a presión interna constante.
NTC 3579	Determinación de la presión hidráulica de rotura a corto plazo en tubos y accesorios de plástico.
NTC 3630	Agua. Demanda bioquímica de oxígeno.
NTC 3651	Aqua. Método para determinación de pH en el agua.
NTC 3654	Transformadores de potencia tipo seco.
NTC 3664	Tubos plásticos de polietileno (PE) con base en el diámetro exterior, controlados y clasificados según la presión.
NTC 3694	Plásticos. Tubos tipo CTS de polietileno (PE).
NTC 3705	Gestión ambiental. Agua. Medición de flujo de agua en canal abierto con vertederos de placa fina.

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS	
NTC 3742	Plásticos. Práctica para la instalación bajo tierra de tubos termoplásticos de presión. 1995-06-21. ASTM d2774-83.
NTC 3818	Tubería metálica. Recubrimiento epóxico con adherencia mediante fusión para aplicación externa sobre tubería de acero.
NTC 3819	Tubería Metálica. Recubrimiento de polietileno para tubería metálica.
NTC 3871	Tubos de fibra de vidrio para usos en sistemas a presión.
NTC 3874	Plásticos. Símbolos para los accesorios de tuberías plásticas.
NTC 3877	Especificaciones para juntas de tubos de fibra (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio) usando sellos elastoméricos.
NTC 3919	Tubos de fibra de vidrio de filamento enrollado.
NTC 3933	Agua. Método estándar para medición del flujo de agua en canal abierto, con canaletas Parshall.
NTC 3945	Aqua. Método estándar para medición del flujo en canal abierto mediante elementos rotativos molinetes.
NTC 3948	Suelo. Especificaciones técnicas para la construcción de un pozo de monitoreo para aguas subterráneas.
NTC 3957	Suelos. Determinación de la conductividad hidráulica y retención de agua característica.
NTC 4001	Tubería Metálica. Tubería estructural de alta resistencia y baja aleación, formada en caliente con o sin costura.
NTC 4246	Desinfección de líneas principales para la conducción de agua.
NTC 4326	Tubos de Acero. Recubrimiento externo con triple capa a base de polipropileno. Aplicación por extrusión.
NTC 4392	Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión aparente del anillo o de plásticos tubulares y plásticos reforzados mediante el método de disco muescado.
NTC 4451-1	Tubería termoplástica reversión longitudinal. Parte 1. Metodos de ensayo.
NTC 4451-2	Tubería termoplástica. Reversión longitudinal. Parte 2. Determinación de parámetros.
NTC 4576	Desinfección de instalaciones de almacenamiento de agua potable.
NTC 4594	Tubos de concreto reforzado para bajas cabezas de presión (ASTM C361)
NTC 4705	Agua. Determinación del oxígeno disuelto.
NTC 4707	Calidad del agua. Determinación de la turbiedad. Método nefelométrico.
NTC 4585	Tubos de polietileno para distribución de agua. Especificaciones. Serie métrica.
NTC 4777	Recubrimientos protectores epóxicos interiores para válvulas e hidrantes.
NTC 4843	Accesorios de polietileno para sistemas de suministro de agua. Serie métrica.
NTC 4897-2	Sistemas de tuberías plásticas para instalación de agua caliente y fría. Polipropileno (pp). Parte 2. Tubos.
NTC 4937-1	Tubería de hierro dúctil. Revestimiento exterior de zinc. Parte 1: Zinc metálico con capa de acabado.
NTC 4937-2	Tubería de hierro dúctil. Recubrimiento exterior de zinc. Parte 2. Pintura rica en zinc con capa de acabado.
NTC 4952	Tubos de hierro dúctil para líneas de tubería con o sin presión. Revestimiento interior con mortero de cemento centrifugado. Requisitos generales.
NTC 5560	Método de ensayo para la detección de fugas en campo de sistemas de tuberías a presión de polietileno (pe) usando presión hidrostática.

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS	
NTC 5425	Especificaciones para tubos de presión de poli (cloruro de vinilo) orientado, PVCO. (ASTM F 1483)
NTC ISO 5667-1	Calidad del agua. Muestreo. Directrices para el diseño de programas.
NTC ISO 5667-2	Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales del muestreo.
NTC ISO 5667-3	Calidad del agua. Muestreo. Recomendaciones para la conservación y el manejo de las muestras.
NTC ISO 5667-4	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales.
NTC ISO 5667-6	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas de ríos y corrientes.
NTC ISO 5667-9	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas marinas.
NTC ISO 5667-11	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas subterráneas.

NORMAS TÉCNICAS INTERNACIONALES	
NORMAS TÉCNICAS AWWA	
AWWA A 100	<i>Water Wells.</i>
AWWA C 104	<i>Cement Mortar Lining for Ductile Iron Pipe and Fittings for Water.</i>
AWWA C 105	<i>Polyethylene Encasement for Ductile Iron Pipe Systems.</i>
AWWA C 110	<i>Ductile Iron and Grey Iron Fittings.</i>
AWWA C 111	<i>Rubber Gasket Joints for Ductile Iron Pressure Pipe &amp; Fittings.</i>
AWWA C 115	<i>Flanged Ductile Iron Pipe with Ductile Iron or Gray Iron Threaded Flanges.</i>
AWWA C 116	<i>Protective Fusion-Bonded Epoxy Coatings for the Interior and Exterior Surfaces of Ductile-Iron and Gray-Iron Fittings for Water Supply Service.</i>
AWWA C 150	<i>Thickness Design of Ductile Iron Pipe.</i>
AWWA C 151	<i>Ductile Iron Pipe Centrifugally Cast for Water.</i>
AWWA C 153	<i>Ductile Iron Compact Fitting 3in thru 24in for Water Service.</i>
AWWA C 200	<i>Steel Water Pipe 6in and Larger.</i>
AWWA C 205	<i>Cement – Morter protective lining and coating for steel water pipe – 4in (100 mm) and larger shop applied.</i>
AWWA C 206	<i>Field Welding of Steel Water Pipe.</i>
AWWA C 207	<i>Steel Pipe Flanges for Waterworks Service.</i>
AWWA C 208	<i>Dimensions for Fabricated Steel Water Pipe Fittings.</i>
AWWA C 210	<i>Liquid – Epoxy coating systems for the interior and exterior of steel water pipelines.</i>
AWWA C 219	<i>Bolted, Sleeve Type Couplings for Plain End Pipe.</i>
AWWA C 220	<i>Stainless Steel Pipe.</i>
AWWA C 300	<i>Reinforced Concrete Pressure Pipe, Steel Cylinder Type for Water and Other Liquids.</i>
AWWA C 301	<i>Prestressed Concrete Pressure Pipe Steel Cylinder Type for Water and Other Liquids.</i>

AWWA C 302	<i>Reinforced Concrete Pressure Pipe, Noncylinder Type.</i>
AWWA C 303	<i>Concrete Pressure Pipe, Bar Wrapped Steel Cylinder Type.</i>
AWWA C 304	<i>Design Prestressed Concrete Cylinder Pipe.</i>
AWWA C 400	<i>Asbestos Cement Pressure Pipe.</i>
AWWA C 401	<i>Selection of Asbestos Cement Pressure Pipe.</i>
AWWA C 402	<i>Asbestos Cement Transmission Pipe.</i>
AWWA C 403	<i>Selection of Asbestos Cement Transmission Pipe.</i>
AWWA C 500	<i>Gate Seated Gate Valves Fro Water Supply Service.</i>
AWWA C 501	<i>Cast Iron Sluice Gates.</i>
AWWA C 502	<i>Dry Barrel Fire Hydrants.</i>
AWWA C 504	<i>Rubber Seated Butterfly Valves.</i>
AWWA C 506	<i>Backflow prevention device-Reduced pressure principle and double check valve types, WITHDRAWN, 9/90.</i>
AWWA C 507	<i>Ball Valves, 6 In. Through 48 In. (150 mm Through 1,200 mm).</i>
AWWA C 508	<i>Swing Check Valves for Water Works Service.</i>
AWWA C 509	<i>Resilient Seated Gate Valves for Water Supply Service.</i>
AWWA C 510	<i>Double Check Valve Backflow Prevention Assembly.</i>
AWWA C 512	<i>Air Release, Air Vacuum &amp; Combination Air Valves for Waterworks Service.</i>
<b>NORMAS TÉCNICAS AWWA</b>	
AWWA C 515-09	<i>Standard for Reduced-Wall, Resilient-Seated Gate Valves for Water Supply Service.</i>
AWWA C 540	<i>Power Actuating Device for Valve &amp; Sluice Gates.</i>
AWWA C 550	<i>Protective Epoxy Interior Coatings for Valves &amp; Hydrants.</i>
AWWA C 600	<i>Installation of Ductile Iron Water Mains &amp; Their Appurtenances.</i>
AWWA C 606	<i>Grooved and Shouldered Joints.</i>
AWWA C 651	<i>Disinfecting Water Mains.</i>
AWWA C 654	<i>Disinfection of Wells.</i>
AWWA C 700	<i>Cold Water Meters-displacement Type Bronze Main Case.</i>
AWWA C 701	<i>Cold Water Meters- Turbine Type, for Customer Service.</i>
AWWA C 702	<i>Cold Water Meters Compound Type.</i>
AWWA C 703	<i>Cold Water Meters Fire Service Type.</i>
AWWA C 704	<i>Propeller Type Meters for Waterworks Applications.</i>
AWWA C 706	<i>Direct Reading Remote-registration Systems for Cold Water Meters.</i>
AWWA C 707	<i>Encoder Type Remote Registration Systems for Cold Water Meters.</i>
AWWA C 708	<i>Cold Water Meters Multi Jet Type.</i>
AWWA C 710	<i>Cold Water Meters Displacement Type, Plastic Main Case.</i>
AWWA C 900	<i>PVC Pressure Pipe 4in thru 12 in for Water Distribution.</i>
AWWA C 901	<i>Polyethylene (Pe) Pressure Pipe &amp; Tubing 1/2in thru 3in for Water Service.</i>
AWWA C 905	<i>Polyvinyl Chloride (PVC) Water Transmission Pipe, Nominal Diameters 14 In. Through 36 In.</i>
AWWA C 906	<i>Polyethylene Pressure Pipe and Fittings 4in thru 63in for Water Distribution.</i>
AWWA C 907	<i>Polyvinyl Chloride Pressure Fittings for Water Pvc Self Tapping Saddle.</i>
AWWA C 950	<i>Fiberglass Pressure Pipe.</i>

NORMAS TÉCNICAS AWWA	
AWWA D 100	<i>Welded Steel Tanks for Water Storage.</i>
AWWA D 102	<i>Coating Steel Water Tanks.</i>
AWWA D 103	<i>Factory-Coated Bolted Steel Tanks for Water Storage.</i>
AWWA D 104	<i>Automatically Controlled, Impressed-Current Cathodic Protection for the Interior of Steel Water Tanks.</i>
AWWA D 110	<i>Wire &amp; Strand Wound, Circular, Prestressed Concrete Water Tanks.</i>
AWWA D 120	<i>Thermosetting Fiberglass-reinforced Plastic Tanks.</i>
AWWA D 130	<i>Flexible Membrane Lining and Floating Cover Materials for Potable Water Storage.</i>
AWWA E 101	<i>Vertical Turbine Pumps-line Shaft and Submersible Types.</i>
AWWA M9	<i>Concrete Pressure Pipe, Manual of Water Supply Practices.</i>
AWWA M11	<i>Steel Water Pipe a Guide for Design and Installation, Manual of Water Supply Practices.</i>
AWWA M27	<i>External corrosion-introduction to chemistry and control.</i>
AWWA M41	<i>Ductile-Iron Pipe Fittings.</i>
AWWA M45	<i>Fiber Glass Pressure Pipe – A Guide for Design and instalation.</i>

NORMAS TÉCNICAS ASTM	
ASTM A 126	<i>Standard Specification for Gray Iron Castings for Valves, Flanges, and Pipe Fittings.</i>
ASTM A 211	<i>Specification for spiral - welded steel or iron pipe.</i>
ASTM A 370	<i>Mechanical Testing of Steel Products.</i>
ASTM A 409	<i>Welded Large Diameter Austenitic Steel Pipe for Corrosive or High-Temperature Service.</i>
ASTM A 536-84	<i>Standard Specification for Ductile Iron Castings.</i>
ASTM A 589	<i>Seamless and Welded Carbon Steel Water-Well Pipe.</i>
ASTM A 714	<i>High-Strength Low-Alloy Welded and Seamless Steel Pipe.</i>
ASTM A 751	<i>Chemical Analysis of Steel Products.</i>
ASTM A 865	<i>Threaded Couplings, Steel, Black or Zinc-Coated (Galvanized) Welded or Seamless, for Use in Steel Pipe Joints.</i>
ASTM A 961	<i>Standard Specification for Common Requirements for Steel Flanges, Forged Fittings, Valves, and Parts for Piping Applications.</i>
ASTM B 62	<i>Standard Specification for Composition Bronze or Ounce Metal Castings.</i>
ASTM C 361	<i>Reinforced Concrete Low-Head Pressure Pipe.</i>
ASTM C 822	<i>Concrete Pipe and Related Products.</i>
ASTM D 512	<i>Test Method for Fluoride in Water.</i>
ASTM D 618	<i>Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing.</i>
ASTM D 638	<i>Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.</i>
ASTM D 695	<i>Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics.</i>
ASTM D 888	<i>Test Methods for Dissolved Oxygen in Water.</i>
ASTM D 1179	<i>Test Methods for Fluoride in Water.</i>
ASTM D 1238	<i>Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer.</i>

NORMAS TÉCNICAS ASTM	
ASTM D 1293	<i>Test Methods pH of Water. ASTM D 1889 Test Methods Turbidity of Water.</i>
ASTM D 1505	<i>Standard Test Method for Density of Plastics by the Density-Gradient Technique.</i>
ASTM D 1598	<i>Standard Test Method for Time-to-Failure of Plastic Pipe Under Constant Internal Pressure.</i>
ASTM D 1599	<i>Standard Test Method for Resistance to Short-Time Hydraulic Failure Pressure of Plastic Pipe, Tubing, and Fittings.</i>
ASTM D 1603	<i>Standard Test Method for Carbon Black In Olefin Plastics.</i>
ASTM D 1784	<i>Rigid Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Compounds and Chlorinated Poly (Vinyl Chloride) (CPVC) Compounds.</i>
ASTM D 2000	<i>Standard Classification System for Rubber Products in Automotive Applications.</i>
ASTM D 2122	<i>Determining Dimensions of Thermoplastic Pipe and Fittings.</i>
ASTM D 2152	<i>Standard Test Method for Adequacy of Fusion of Extruded Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Pipe and Molded Fittings by Acetone Immersion.</i>
ASTM D 2239	<i>Polyethylene (PE) Plastic Pipe (SDR-PR) Based on Controlled Inside Diameter.</i>
ASTM D 2241	<i>Specification for Poly (vinil chloride) (PVC) pressure - Rated Pipe. (SDR Series)</i>
ASTM D 2290	<i>Standard Test Method for Apparent Hoop Tensile Strength of Plastic or Reinforced Plastic Pipe by Split Disk Method.</i>
ASTM D 2310	<i>Machine-Made "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe.</i>
ASTM D 2412	<i>Standard Test Method for Determination of External Loading Characteristics of Plastic Pipe by Parallel-Plate Loading.</i>
ASTM D 2444	<i>Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a Tup (Falling Weight).</i>
ASTM D 2466	<i>Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Pipe Fittings, Schedule 40.</i>
ASTM D 2584	<i>Standard Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins.</i>
ASTM D 2609	<i>Standard Specification for Plastic Insert Fittings for Polyethylene (PE) Plastic Pipe.</i>
ASTM D 2683	<i>Socket-Type Polyethylene Fittings for Outside Diameter-Controlled Polyethylene Pipe and Tubing.</i>
ASTM D 2737	<i>Standar specification for polyethylene (PE) plastic tubing.</i>
ASTM D 2837	<i>Standard Test Method for Obtaining Hydrostatic Design Basis for Thermoplastic Pipe Materials or Pressure Design Basis for Thermoplastic Pipe Products.</i>
ASTM D 2839	<i>Standard Practice for Use of a Melt Index Strand for Determining Density of Polyethylene.</i>
ASTM D 2855	<i>Standard Practice for Making Solvent-Cemented Joints with Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Pipe and Fittings.</i>
ASTM D 2992	<i>Obtaining Hydrostatic or Pressure Design Basis for "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe and Fittings.</i>
ASTM D 2996	<i>Filament-Wound "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe</i>
ASTM D 2997	<i>Centrifugally Cast "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe</i>
ASTM D 3035	<i>Standar Specification for polyethylene (PE) plastic pipe (DR-PR) based on controlled outside diameter.</i>
ASTM D 3139	<i>Joints for Plastic Pressure Pipes Using Flexible Elastomeric Seals.</i>
ASTM D 3261	<i>Butt Heat Fusion Polyethylene (PE) Plastic Fittings for Polyethylene (PE) Plastic Pipe and Tubing.</i>
ASTM D 3350	<i>Polyethylene Plastics Pipe and Fittings Materials.</i>

NORMAS TÉCNICAS ASTM	
ASTM D 3372	<i>Test Methods for Molybdenum in Water.</i>
ASTM D 3517	<i>Fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pressure Pipe</i>
ASTM D 3567	<i>Determining Dimensions of "Fiberglass" Glass - Fiber - Reinforced Thermo-setting Resin) Pipe and Fittings.</i>
ASMT D 3870	Práctica para establecer las características de funcionamiento de los métodos de recuento de colonias.
ASTM D 4043	<i>Standard Guide for Selection of Aquifer Test Method in Determining Hydraulic Properties by Well Techniques.</i>
ASTM D 4161	<i>"Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe Joints Using Flexible Elastomeric Seals.</i>
ASTM D 4218	<i>Standard Test Method for Determination of Carbon Black Content in Polyethylene Compounds By the Muffle-Furnace Technique.</i>
ASTM D 5389	<i>Open-Channel Flow Measurement by Acoustic Velocity Meter Systems.</i>
ASTM D 5640	<i>Selection of Weirs and Flumes for Open-Channel Flow Measurement of Water.</i>
ASTM F 147	<i>Standard Test Method for Flexibility of Non-Metallic Gasket Materials.</i>
ASTM F 477	<i>Standard Specification for Elastomeric Seals (Gaskets) for Joining Plastic Pipe.</i>
ASTM F 480	<i>Standard Specification for Thermoplastic Well Casing Pipe and Couplings Made in Standard Dimension Ratios (SDR), SCH 40 and SCH 80.</i>

NORMAS TÉCNICAS ISO	
ISO R 160	<i>Asbestos-cement, presure pipes and joints.</i>
ISO 1172	<i>Textile-glass-reinforced plastics. Prepregs, moulding compounds and laminates. Determination of the textile-glass and mineral-filler content -- Calcination methods</i>
ISO 2230	Elastómeros vulcanizados - condiciones de almacenamiento.
ISO 2531	<i>Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water or gas applications</i>
ISO 2548	<i>Centrifugal, Mixed Flow and Axial Pumps</i>
ISO 4064	<i>Measurement of Water Flow in Fully Charged Closed Conduits - Meters for Cold Potable Water and Hot Water.</i>
ISO 4179	<i>Ductile iron pipes and fittings for pressure and non-pressure pipelines -- Cement mortar lining.</i>
ISO 4427-1	<i>Plastics piping systems- Polietylene (PE) pipes and fittings for water supply part 1. General</i>
ISO 4427-1	<i>Plastics piping systems- Polietylene (PE) pipes and fittings for water supply part 2. Pipes.</i>
ISO 4427-3:2007	<i>Plastics piping systems -- Polyethylene (PE) pipes and fittings for water supply -- Part 3: Fittings.</i>
ISO 4633	Juntas de estanqueidad de caucho - Guarniciones de juntas de canalizaciones de alimentación y evacuación de aguas (Alcantarillados incluidos - Especificación de materiales)
ISO 7005-2:1988	Bridas metálicas – Parte 2: Bridas de fundición.
ISO 8179	<i>Ductile iron pipes -- External zinc – based coating -- Part 1: Metallic zinc with finishing layer. Part 2: Zinc rich paint with finishing layer</i>
ISO 8180	Tuberías de hierro dúctil – Mangas de polietileno para aplicación en sitio.
ISO/TR 10837:1991	<i>Determination of the thermal stability of polyethylene (PE) for use in gas pipes and fittings.</i>
ISO 12176-3:2006	<i>Plastics pipes and fittings -- Equipment for fusion jointing polyethylene systems -- Part 3: Operator's badge.</i>

NORMAS TÉCNICAS ISO	
ISO 13949:1997	<i>Method for the assessment of the degree of pigment dispersion in polyolefin pipes, fittings and compounds.</i>
ISO 13953:2001	<i>Polyethylene (PE) pipes and fittings -- Determination of the tensile strength and failure mode of test pieces from a butt-fused joint</i>
ISO DIS 16422	Tubos y Uniones Fabricados de Policloruro de Vinilo Orientado Molecularmente (PVC-O) para Transporte de Agua.
ISO 8180	<i>Ductile Iron pipelines – Polyethylene sleeping for site application.</i>
NORMAS TÉCNICAS DIN	
DIN 1988	<i>Drinking water supply systems; pressure boosting and reduction (DVGW code of practice)</i>
DIN 1994 4	<i>Phosphorescent Pigments and Products: Photoluminescent Products for Safety Applications.</i>
DIN 8077	<i>Specifications for polypropylene pressure pipe dimensions – metric series. PPH</i>
DIN 8078	<i>Polypropylene (PP) pipes - PP-H, PP-B, PP-R, PP-RCT - General quality requirements and testing</i>
DIN 16961	<i>Thermoplastics Pipes and Fittings with Profiled Outer and Smooth Inner Surfaces. Part 1: Dimensions. Part 2: Technical delivery conditions.</i>
DIN 16962	<i>Pipe joint assemblies and fittings for types 1 to 3 polypropylene (PP) pressure pipes; injection-molded fittings for butt welding; dimensions</i>
DIN 19928	<i>Pipes of Thermoplastic Materials; Pipe Joints, Elements for Pipes, Laying; General Directions</i>
DIN 30675-2	<i>External Corrosion Protection of Buried Pipes; Corrosion Protection Systems for Ductile Iron Pipes.</i>

NORMAS TÉCNICAS ANSI	
ANSI B 16.10	<i>Face to Face / End to End Dimensions for Flanged Valves.</i>
ANSI B 16.5	Bridas para tuberías y accesorios de acero y hierro dúctil
ANSI B 16.34	Válvulas flujo anular, válvulas mariposa, válvulas de compuerta.
NORMAS TÉCNICAS ANSI	
ANSI/NSF 61	<i>Drinking Water System Components-Health Effects.</i>
AS 4176-1994	<i>Polyethylene/aluminium and cross-linked polyethylene/aluminium macro-composite pipe systems for pressure applications.</i>
EN 545	Tubos, racores y accesorios de fundición dúctil y sus uniones para canalizaciones de agua. Requisitos y métodos de ensayo
EN 13476	Sistemas de Canalización en Materiales Termoplásticos para Saneamiento Enterrado sin Presión.
MMS SP 44	<i>Steel Pipeline Flanges.</i>
NFS 14	<i>Plastic Piping System Components and Related Material.</i>
UNE 53394:2006	Plásticos. Código de instalación y manejo de tubos de polietileno (PE) para conducción de agua a presión. Técnicas recomendadas.
NORMAS TÉCNICAS ANSI	
Además de las normas nacionales e internacionales definidas en los literales anteriores, el consultor debe tener en cuenta las normas y manuales de las personas prestadoras del servicio para realizar los diseños, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de acueducto.	

## Leyes, decretos y legislación pertinente

LEYES Y DECRETOS NACIONALES	
Ley 09 de 1979	Reglamenta el Código Sanitario Nacional.
Resolución 8321 del 4 de Agosto de 1983	Por la cual se dictan normas sobre Protección y conservación de la Audición de la Salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos.
Ley 99 de 1993	Crea el Ministerio del Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones sobre gestión y conservación del medio ambiente.
Ley 142 de 1994	Establece el Régimen de Servicios Públicos Domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
Ley 373 de 1997	Establece el programa de ahorro y uso eficiente del agua.
Ley 388 de 1997	Modifica la Ley 9 <sup>a</sup> de 1989 de planes de desarrollo municipal, y la Ley 3 <sup>a</sup> de 1991, y se dictan otras disposiciones. Reglamenta sobre planes de desarrollo territorial y clasificación de suelos.
Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998	Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98.
Decreto 302 de 2000	Reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
Resolución 1096 de 2000	Por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.
Resolución No. 138 de 2000 de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA.	Establece el nivel de consumo para grandes consumidores vinculados al Servicio Público Domiciliario de acueducto o de alcantarillado para los efectos del Decreto 302 de 2000.
Ley 689 de 2001	Modifica parcialmente la Ley 142 de 1994.
Resolución 151 de 2001 de la Comisión de Regulación de Agua Potable	Regulación integral de los servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo.
Decreto 229 de 2002	Modifica parcialmente el Decreto 302 de 2000, en materia de conceptos de acueducto y alcantarillado.
Decreto 849 de 2002	Reglamenta el artículo 78 de la Ley 715 de 2001.
Resolución 1166 de 2006	Por el cual se expide el Reglamento Técnico que señala los requisitos técnicos que deben cumplir los tubos de acueducto, alcantarillado, los de uso sanitario, los de aguas lluvias y sus accesorios que adquieran las Personas Prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado.
Decreto 1575 de 2007	Establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Resolución 2115 de 2007	Señala características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Resolución 813 de 2008	Adopta la guía de acceso, elegibilidad, presentación y viabilización de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico que recibirán recursos de apoyo de la Nación mediante el mecanismo de Ventanilla Única, se reglamenta el Comité Técnico de Proyectos y se dictan otras disposiciones.

## Normas y manuales de las personas prestadoras del servicio

Además de las normas nacionales e internacionales, se debe tener en cuenta la normativa interna y los manuales de las personas prestadoras del servicio para realizar los diseños, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de acueducto.

# Definiciones

Para interpretar y aplicar el presente Título deben tenerse en cuenta las siguientes definiciones:

**Abatimiento:** Diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico o de bombeo en el pozo de explotación de un acuífero.

**Accesorios:** Elementos componentes de un sistema de tuberías, diferentes de las tuberías en sí, tales como uniones, codos, tees, etc.

**Acometida:** Derivación de la red local del servicio de acueducto que llega hasta el registro de corte de un inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general. (Ley 142 de 1994).

**Acuífero:** Unidad de roca o sedimento, capaz de almacenar y transmitir agua.

**Acuífero confinado:** Acuífero comprendido entre dos capas impermeables en donde el agua está sometida a una presión mayor que la atmosférica (llamados también acuíferos de presión y acuíferos artesianos).

**Acuífero libre:** Acuífero donde al agua se encuentra sometida a la presión atmosférica (llamado también no-confinado, inconfinado, o de tabla de agua).

**Acuífero semiconfinado:** Acuífero comprendido entre dos capas de baja permeabilidad.

**Aducción:** Componente a través del cual se transporta agua cruda, ya sea a flujo libre o a presión.

**Agua cruda:** es el agua natural que no ha sido sometida a proceso de tratamiento para su potabilización.

**Agua de lavado:** Agua proveniente de las labores de lavado de la red de conducciones o distribución de agua potable.

**Agua potable:** es aquélla que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el decreto 1575 de 2007 y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal.

**Aguas arriba:** En hidráulica, hace referencia a la zona anterior a un volumen de control, en la dirección del flujo.

**Algoritmo genético:** Algoritmos de evolución que someten a los individuos a acciones aleatorias y de selección tal y como ocurren en la evolución biológica. Se aplica para buscar soluciones a problemas complejos, especialmente de optimización combinatoria.

**Almacenamiento:** Acción destinada a almacenar un determinado volumen de agua para cubrir los picos horarios y la demanda contra incendios.

**Altimetría:** Es la parte de la topografía que estudia y determina las diferencias de nivel y las formas (morfología) del terreno.

**Altura de presión:** Presión manométrica en un punto, expresada en metros de columna de agua. Es obtenida como la razón entre la magnitud de la presión y el peso específico del agua.

**Altura de velocidad:** Altura teórica a la que una partícula líquida puede elevarse debido a su energía cinética.

**Altura dinámica total:** Energía suministrada por una bomba a un flujo en tuberías, expresada en términos de altura piezométrica, obtenida como la suma de la altura estática en la succión, de las pérdidas de energía por fricción y pérdidas menores en la succión y en la impulsión, y de la presión requerida al final de la línea de impulsión.

**Altura estática:** Diferencia en altura entre dos puntos que están conectados y que hacen parte de un sistema de acueducto.

**Altura piezométrica (aguas subterráneas):** Sinónimo de cabeza piezométrica, corresponde a la elevación más la cabeza de presión.

**Altura piezométrica:** Altura a la que se elevaría el agua en un tubo piezométrico colocado en un punto de una conducción.

**Altura piezométrica de presión:** Presión manométrica en un punto, expresada en metros de columna de agua, obtenida como la razón entre la magnitud de la presión y el peso específico del agua.

**Altura piezométrica dinámica total:** Véase Altura dinámica total.

**Análisis de vulnerabilidad:** Es el estudio que permite evaluar los riesgos a que están expuestos los distintos componentes de un sistema de suministro de agua.

**Anclaje:** Apoyo que soporta los empujes ocasionados por el cambio de dirección en una tubería sometida a presión interna.

**Ánodos de sacrificio:** Técnica de protección catódica, su denominación se debe a que protegen de la corrosión a otro material, soportando toda la corrosión hasta que se agotan.

**Apique:** Excavación simple y poco profunda con el fin de identificar las características del subsuelo.

**Asentamiento:** Hundimiento o descenso del nivel de una estructura debido a la consolidación y deformación del suelo o roca de cimentación.

**Atoxicidad:** Requisito de medida de la máxima concentración admisible de metales y compuestos químicos de reconocido efecto adverso a la salud humana que pueden migrar de las paredes de la tubería al agua que transportan y que no debe exceder los valores máximos indicados en el Decreto 1575/2007 del Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o el que lo sustituya, modifique o derogue.

**Autoridad ambiental competente:** Para efectos del presente documento, se consideran como autoridades ambientales competentes, el Ministerio de

Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, las Corporaciones Autónomas Regionales, Corporaciones de Desarrollo Sostenible, los municipios, distritos o áreas metropolitanas cuya población urbana fuere igual o superior a un millón de habitantes (1.000.000) (artículo 66 de la ley 99 de 1993) y las Autoridades Ambientales Distritales a que se refiere la Ley 768 de 2002.

**Base de datos:** Conjunto de información que se almacena bajo esquemas particulares para su posterior consulta y análisis.

**Batimetría:** Es la técnica asociada a la obtención de valores de profundidad del agua. Ésta puede ser de tipo marina, lacustre o fluvial.

**Bifurcación:** Punto de una red de tuberías en serie a partir del cual se divide en dos ramas más o menos similares.

**Biopelículas:** Estructuras heterogéneas compuestas principalmente por microorganismos que crecen en ambientes acuosos.

**Boca de acceso o inspección:** Abertura que se localiza sobre una tubería con el objeto de permitir el acceso a su interior.

**Bocatoma:** Estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente superficial y la conduce al sistema de acueducto.

**Bomba de émbolo:** Es una bomba de desplazamiento positivo y se utiliza para bombear pequeñas cantidades de líquido a altas presiones.

**Borde libre:** Espacio comprendido entre el nivel máximo esperado del agua fijado por el sistema de rebose y la altura total de la estructura hidráulica.

**Brida:** Es un accesorio de tubería para juntar dos tubos por medio de pernos.

**Caída libre:** Se presenta cuando el flujo de agua sufre una discontinuidad en el fondo en un canal plano.

**Calibración:** Consiste en la modificación de parámetros del modelo matemático de la red. Esta modificación se realiza con el fin de mejorar la semejanza entre el modelo hidráulico y la red existente en campo. La calibración proporciona las variables óptimas de tal forma que mejoren el modelo tanto como sea posible.

**Calidad de agua:** Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia.

**Cámara de succión:** Depósito de almacenamiento de agua en el cual se encuentra la tubería de succión.

**Campana y espigo:** Sistema de unión entre tuberías en el cual no se requiere de accesorios porque una tubería entra dentro de la otra.

**Canal:** Conducto descubierto que transporta agua a flujo libre.

**Capacidad buffer:** Capacidad de una sustancia para amortiguar las variaciones de pH.

**Capacidad de acuífero:** Volumen de agua que puede producir un acuífero.

**Capacidad específica:** (agua subterránea o pozos profundos) Caudal extraído de un pozo por unidad de abatimiento, expresado en L/s/m.

**Capacidad hidráulica:** Caudal máximo que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.

**Capacidad portante:** Capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo.

**Captación:** Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento.

**Carcasa:** Cámara o caja protectora de la estructura interna de una bomba.

**Carga viva:** Las cargas vivas son cargas no permanentes producidas por materiales o artículos, e inclusive gente en permanente movimiento.

**Casco urbano:** Se refiere al suelo urbano de un municipio o ciudad.

**Catastro de red:** Sistema de registro y archivo de información técnica estandarizada y relacionada con todos los detalles técnicos de ubicación de tuberías, diámetros, válvulas, hidrantes y todo accesorio de la red.

**Catastro de usuarios:** Es el listado que contiene los usuarios del servicio con sus datos identificadores. (Resolución CRA 151)

**Caudal:** Cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo.

**Caudal de diseño:** Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

**Caudal de incendio:** Parte del caudal en una red de distribución destinado a combatir los incendios.

**Caudal ecológico:** El caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua.

**Caudal específico de distribución:** Caudal de distribución medio que se presenta o se estima en un área específica definido en términos de caudal por unidad de área o caudal por unidad de longitud de tubería de distribución instalada o proyectada en el área de diseño.

**Caudal instantáneo:** Caudal en tiempo real suministrado por una bomba.

**Caudal máximo diario:** Consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

**Caudal máximo horario:** Consumo máximo durante una hora, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

**Caudal medio diario:** Consumo medio durante veinticuatro horas, obtenido como el promedio de los consumos diarios en un período de un año.

**Cavitación:** Proceso dinámico de formación de burbujas dentro del líquido, su crecimiento y subseciente colapso a medida que el líquido fluye a través de la bomba.

**Celeridad:** Velocidad relativa de la onda respecto al fluido.

**Certificación sanitaria:** Es el acto administrativo expedido por la autoridad sanitaria competente a través del cual se acredita el cumplimiento de las normas y criterios de la calidad del agua para consumo humano, soportado en el concepto sanitario, proferido a solicitud del interesado o de las autoridades de control.

**Círcito:** Subsector de la red de distribución de agua potable en el cual se puede identificar con facilidad un solo punto de entrada o alimentación de caudal.

**Cloro residual:** Concentración de cloro existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto determinado.

**Coeficiente de almacenamiento:** Volumen de agua producido por unidad de área cuando la presión desciende un metro en un acuífero confinado. En acuíferos no-confinados corresponde al rendimiento específico.

**Coeficiente de consumo máximo diario:** Relación entre el consumo máximo diario y el consumo medio diario.

**Coeficiente de consumo máximo horario con relación al máximo diario:** Relación entre el consumo máximo horario y el consumo máximo diario.

**Coeficiente de consumo máximo horario:** Relación entre el consumo máximo horario y el consumo medio diario.

**Coeficiente de decaimiento:** Es una magnitud que caracteriza la pérdida de un componente químico cuando éste desaparece por medio de algún tipo de proceso químico.

**Coeficiente de fricción:** Coeficiente que representa el efecto de la fricción entre el flujo y la pared del canal o ducto, que depende de la rugosidad relativa de la tubería o canal y el número de Reynolds.

**Coeficiente de pérdida menor:** Medida de las pérdidas de energía que se producen por el paso del flujo en un accesorio o estructura, y que es factor de la altura piezométrica de velocidad.

**Coeficiente de rugosidad:** Medida de la rugosidad de una superficie, que depende del material y del estado de la superficie interna de una tubería.

**Coeficiente de uniformidad:** Coeficiente que permite evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas de un suelo, expresado como la relación entre el diámetro o tamaño de partículas por debajo del cual queda el 60% del suelo en peso (D60) y el diámetro o tamaño de partículas por debajo del cual queda el 10% del suelo en peso (D10).

**Conducción:** Componente a través del cual se transporta agua potable, ya sea a flujo libre o a presión.

**Conductividad hidráulica:** Caudal que fluye en un acuífero por un área unitaria bajo un gradiente unitario.

**Conducto:** Estructura hidráulica destinada al transporte de agua.

**Conexión clandestina:** Conexión ilegal al sistema de acueducto.

**Conexión domiciliaria:** Tubería que transporta el agua potable desde la red de distribución hasta la red interna.

**Consumidor especial.** Se considera consumidor especial aquel cuyo consumo presenta las siguientes características:

Cuando en la red abierta el consumo sea igual o mayor que el menor caudal que ocurriría si el consumidor no existiera, en cualquiera de los puntos ficticios de consumo de las tuberías principales.

Cuando en la red abierta el consumo sea igual o mayor que el menor caudal de sus derivaciones.

**Contaminación:** Alteración del ambiente con sustancias o formas de energía puestas en él, por actividad humana o de la naturaleza, en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y la fauna, degradar la calidad del ambiente de los recursos de la Nación o de los particulares.

**Contracción:** Reducción en el ancho de sección transversal de un ducto o accesorio.

**Contraflujo:** Fenómeno que se presenta cuando el flujo de agua viaja en la dirección contraria a su dirección normal de flujo debido a caídas de presión.

**Control en tiempo real:** Práctica que busca conocer el comportamiento hidráulico de una red de distribución, en cada instante del tiempo, por medio de una serie de instrumentación y control remoto de sus componentes.

**Corrosión:** Deterioro de un material metálico a consecuencia de un ataque químico por su entorno.

**Corrosión electrolítica:** Es producida por el flujo de corriente alterna o continua a través del mismo metal con que está construida la tubería.

**Cota de batea:** Nivel del punto más bajo de la sección transversal interna de una tubería o colector.

**Cota de clave:** Nivel del punto más alto de la sección transversal externa de una tubería o colector.

**Cresta:** Punto más elevado de una estructura de rebose.

**Cuenca hidrográfica:** Área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

**Cuerpo:** Parte principal de un accesorio, como por ejemplo, una válvula o una unión.

**Cuerpo receptor:** Cualquier masa de agua natural o de suelo que recibe la descarga del afluente final.

**Curvas características:** Curvas que definen el comportamiento de una bomba mostrando el rango de caudales de operación contra la altura dinámica total, la potencia consumida, la eficiencia y la altura piezométrica neta de succión positiva.

**Data logger:** Sistema de adquisición de datos que almacena la información de uno o más sensores externos.

**Decaimiento:** Disminución en el tiempo de la concentración de una sustancia presente en el agua.

**Demandas unitaria o demanda per cápita:** Caudal demandado por habitante.

**Densidad:** Masa por unidad de volumen de un fluido

**Densidad poblacional:** Número de personas que habitan dentro de un área bruta o neta determinada.

**Depósito inorgánico:** Sedimento que se deposita en el fondo de un ducto.

**Desarenador:** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación mecánica.

**Desinfección:** Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.

**Diámetro interno real:** Diámetro interno de una tubería determinado con elementos apropiados.

**Diámetro nominal:** Es una denominación comercial con la cual se conoce comúnmente el diámetro de una tubería, a pesar de que algunas veces su valor no coincide con el diámetro real interno.

**Dilatación:** Expansión de material debido al aumento de la temperatura.

**Dotación:** Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en una unidad de tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes.

**Dragado:** Proceso realizado en un río, canal o embalse que tiene por objeto la remoción de sedimentos del fondo.

**Drenaje:** Estructura destinada a la evacuación de aguas subterráneas o superficiales para evitar daños a las estructuras, los terrenos o las excavaciones.

**Ducto:** Canal de cualquier sección transversal que puede transportar agua a superficie libre o a presión.

**Ecuación de la bomba:** Ecuación que representa el comportamiento hidráulico de una bomba y que relaciona el caudal bombeado con la altura de presión.

**Ecuación del sistema:** Ecuación que relaciona las pérdidas por fricción, las pérdidas menores, la altura topográfica y la altura dinámica total entre dos puntos conectados por un sistema de bomba y tubería.

**Edad media del agua:** Tiempo promedio que dura una partícula de agua en una red de distribución de agua potable antes de ser consumida.

**Elasticidad económica:** Relación entre la variación en el consumo y la variación en el precio de un bien, obtenida como la razón entre el incremento proporcional en el consumo sobre el incremento proporcional en el precio.

**Empaque de grava (aguas subterráneas):** Grava seleccionada colocada en el espacio anular entre las paredes de un pozo y la tubería de revestimiento que contiene la rejilla para evitar la entrada del material fino proveniente de un acuífero.

**Esfuerzo de fluencia:** Es el menor valor del esfuerzo para el cual se produce una deformación permanente o deformación plástica en un material.

**Esfuerzo límite:** Es el límite elástico a partir del cual se inicia la deformación permanente del material.

**Espaciamiento:** Separación en metros entre dos puntos.

**Estación de bombeo:** Componente destinado a aumentar la presión del agua con el objeto de transportarla a estructuras más elevadas.

**Estación hidrométrica:** Estación para la determinación de caudales por medio de registro gráfico continuo de los niveles de agua.

**Estanqueidad:** Capacidad de ser estanco, cerrado, o impermeable.

**Estructura de disipación:** Estructura cuyo objetivo es disminuir la energía específica del flujo en un canal abierto.

**Evaluación socioeconómica:** Estudio que busca la solución más eficiente para un problema, considerando aspectos económicos y el beneficio de la comunidad.

**Expansión térmica:** Ver Dilatación.

**Extrusión:** Es un proceso de fabricación continuo, en que la resina plástica, fundida por la acción de temperatura y fricción, es forzada a pasar por una matriz que le proporciona una forma definida, y enfriada finalmente para evitar deformaciones permanentes.

**Falla geológica:** Es una discontinuidad que se forma en las rocas superficiales de la Tierra por fractura, cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas.

**Filtro (aguas subterráneas):** Conjunto formado por el empaque de grava y la rejilla utilizado para evitar la entrada de material fino de un acuífero a la tubería de extracción de un pozo de agua subterránea.

**Flujo a presión:** Aquel transporte en el cual el agua ocupa todo el interior del conducto, quedando sometida a una presión superior a la atmosférica.

**Flujo crítico:** Estado de flujo en el cual la energía específica es la mínima para un caudal determinado.

**Flujo gradualmente variado:** Flujo permanente cuya profundidad varía de manera gradual a lo largo de la longitud del canal.

**Flujo libre:** Aquel transporte en el cual el agua presenta una superficie libre donde la presión es igual a la presión atmosférica.

**Flujo no permanente:** El flujo en un canal abierto es no permanente si la profundidad del flujo cambia durante el intervalo de tiempo en consideración.

**Flujo permanente:** El flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad del flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración.

**Flujo subcrítico:** Flujo en el cual las fuerzas gravitacionales son más importantes que las fuerzas iniciales.

**Flujo supercrítico:** Flujo en el cual las fuerzas iniciales son más importantes que las fuerzas gravitacionales.

**Fotogeología:** La fotogeología es la parte de la geología que se especializa en el estudio de las superficies de cuerpos planetarios a través de imágenes por satélite.

**Fuente de abastecimiento de agua:** Depósito o curso de aguas superficial o subterránea, utilizada en un sistema de suministro a la población, bien sea de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas.

**Fuerza hidrodinámica:** Fuerza que actúa sobre un fluido considerado de tipo ideal.

**Fuga:** Volumen de agua que se escapa a través de las instalaciones internas de un inmueble y es detectable directamente por los sentidos.

**Georreferenciar:** Acción de ubicar uno o varios puntos a partir de un grupo de puntos semejantes previamente localizados.

**Gestión del riesgo:** La gestión de riesgos es un enfoque estructurado para manejar la incertidumbre relativa a una amenaza, a través de una secuencia de actividades humanas que incluyen evaluación de riesgo, estrategias de desarrollo para manejarlo y mitigación del riesgo utilizando recursos gerenciales. Las estrategias incluyen transferir el riesgo a otra parte, evadir el riesgo, reducir los efectos negativos del riesgo y aceptar algunas o todas las consecuencias de un riesgo particular.

**Golpe de ariete:** Fenómeno hidráulico de tipo dinámico oscilatorio, causado por la interrupción violenta del flujo en una tubería, bien sea por el cierre rápido de una válvula o por el apagado del sistema de bombeo, que da lugar a la transformación de la energía cinética en energía elástica, tanto en el flujo como en la tubería, produciendo sobre elevación de la presión, subpresiones y cambios en el sentido de la velocidad del flujo.

**Gran consumidor:** Es todo aquel cliente o suscriptor que durante seis meses continuos supere en consumo los 1000 m<sup>3</sup> mensuales.

**Hidrante:** Elemento conectado a la red de distribución que permite la conexión de mangueras especiales utilizadas en la extinción de incendios.

**Hincado de tuberías:** Técnica de instalación de tuberías que se basa en clavar y/o apoyar las tuberías en el terreno donde van a ser instaladas, en una especie de perforación del suelo.

**Incrustación:** Introducción y solidificación de partículas y elementos sobre la pared interna de una tubería.

**Índice de agua no contabilizada:** Indicador porcentual que relaciona el volumen total de agua que se suministra a las redes con el volumen total de agua que se factura a los suscriptores de éstas, en un período determinado.

**Índice de resiliencia:** Indicador que relaciona la potencia por unidad de peso de operación real y la potencia por unidad de peso de operación óptima del sistema de distribución con el fin de establecer el grado de eficiencia de entrega del servicio dada una configuración de tuberías.

**Infraestructura:** Conjunto de elementos o servicios que se consideran necesarios para la creación y funcionamiento de una organización cualquiera.

**Inteligencia artificial:** Es la inteligencia que exhiben implementos tecnológicos creados por el hombre y que busca emular el comportamiento y raciocinio de la especie humana.

**Interferencia:** Perturbación generada por el cruce de una red de acueducto con algún tipo de obstáculo.

**Interventoría:** Son todas aquellas actividades que buscan el cumplimiento en la ejecución de las obras, la mitigación de impactos negativos generados y el mejoramiento de la calidad de vida en lo referente a proyectos de saneamiento ambiental y de agua potable.

**Juntas:** Unidades que se emplean para unir tubos entre sí y con los accesorios.

**Lavado de tuberías:** Acción de lavar internamente las tuberías de un sistema de acueducto con el fin de remover partículas depositadas y biopelículas.

**Licencia ambiental:** Es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de una obra o actividad, sujeta al cumplimiento por el beneficiario de la licencia de los requisitos que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales de la obra o actividad autorizada.

**Licuefacción del suelo:** La licuefacción del suelo describe el comportamiento de suelos que, estando sujetos a la acción de una fuerza externa (carga), en ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a un estado líquido, o adquieren la consistencia de un líquido pesado.

**Línea de energía:** Línea o elevación obtenida como la suma de la altura piezométrica de presión, la altura piezométrica de velocidad y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.

**Línea de gradiente de hidráulico:** Línea o elevación obtenida como la suma de la altura de presión y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.

**Línea de impulsión:** Ver tubería de impulsión.

**Línea piezométrica:** Línea o elevación obtenida de la suma de la altura piezométrica de presión y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.

**Litología:** Es la parte de la geología que estudia la naturaleza y composición de las rocas que forman el conjunto de la corteza terrestre.

**Localidad:** Es una división territorial y administrativa genérica para cualquier núcleo de población con identidad propia.

**Lógica difusa:** Consiste en sistemas lógicos que admiten varios valores de verdad posibles, cuantificando la incertidumbre en más de dos valores como lo hace la lógica clásica.

**Macromedición:** Sistema de medición de grandes caudales, destinado a totalizar la cantidad de agua que ha sido tratada en una planta de tratamiento y la que está siendo transportada por la red de distribución en diferentes sectores.

**Macromedidor:** Aparato utilizado con el objetivo de tomar mediciones de grandes caudales en puntos específicos de un sistema de acueducto.

**Magnetometría:** La magnetometría es una técnica basada en la medida y estudio de las variaciones del campo magnético terrestre, obteniéndose medidas del valor total del campo magnético o del gradiente de dicho campo.

**Mampara:** Es un tabique desmontable formado por un bastidor de madera o metálico, generalmente de perfiles especiales de aluminio, cubierto con planchas de aglomerado de madera, estratificados de plástico, vidrio u otros materiales, que sirve para dividir locales, habitaciones u otro tipo de estructuras.

**Manómetro:** Aparato que se utiliza para medir la presión manométrica.

**Mantenimiento correctivo:** Mantenimiento que se hace en algún componente del sistema de acueducto como reacción a una falla o daño.

**Mantenimiento preventivo:** Mantenimiento que se hace en algún componente del sistema de acueducto a partir de un programa previo, para evitar que el sistema presente una falla o daño.

**Mapa de riesgo de calidad del agua:** Instrumento que define las acciones de inspección, vigilancia y control del riesgo asociado a las condiciones de calidad de las cuencas abastecedoras de sistemas de suministro de agua para consumo humano, las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de las fuentes superficiales o subterráneas de una determinada región, que puedan generar riesgos graves a la salud humana si no son adecuadamente tratadas, independientemente de si provienen de una contaminación por eventos naturales o antrópicos.

**Meandro:** Es una curva descrita por el curso de un río cuya sinuosidad es pronunciada.

**Medición:** Sistema destinado a registrar o totalizar la cantidad de agua transportada por un conducto.

**Medidor:** Dispositivo encargado de medir y acumular el consumo de agua.

**Micromedición:** Sistema de medición de volumen de agua, destinado a conocer la cantidad de agua consumida en un determinado período de tiempo por cada suscriptor de un sistema de acueducto.

**Microzonificación sísmica:** Zonas de suelos con comportamiento similar durante un sismo.

**Modelo hidráulico:** Formulación idealizada que representa la respuesta de un sistema hidráulico a estímulos externos.

**Módulo de compresibilidad:** También conocido como módulo de elasticidad volumétrica; se refiere a la razón entre el aumento de presión sobre un volumen unitario de fluido y el decrecimiento de este volumen.

**Módulo de elasticidad:** Es la razón o relación entre el incremento de esfuerzo aplicado a un material y el cambio correspondiente a la deformación unitaria que experimenta, en la dirección de aplicación del esfuerzo.

**Momentum lineal:** El momentum lineal de una partícula se define como el producto de su masa por su velocidad. Es un concepto físico de mucha importancia porque combina los dos elementos que caracterizan el estado dinámico de una partícula: su masa y su velocidad.

**Muestra:** Pequeños volúmenes de agua recolectados de uno o varios puntos de un sistema de acueducto con el fin de hacer ensayos de cantidad y calidad para evaluar el funcionamiento del sistema.

**Nivel de complejidad del sistema:** Rango en el cual se clasifica un proyecto el cual depende del número de habitantes en la zona urbana del municipio, su capacidad económica o el grado de exigencia técnica que se requiera.

**Nivel dinámico (Aguas subterráneas):** Nivel de agua dentro de un pozo en un acuífero, cuando a través de éste se extrae el agua (llamado también nivel de bombeo).

**Nivel estático (Aguas subterráneas):** Nivel de agua en un acuífero cuando no hay extracción de agua.

**Nivel freático:** Nivel del agua subterránea en un acuífero libre o no confinado (llamado también tabla de agua), corresponde a la superficie de la zona saturada, la cual está a presión atmosférica.

**Nodos de consumo:** Punto en el cual se unen dos o más tuberías y se presenta una conexión de un grupo de suscriptores.

**Norma:** Documento aprobado por una institución reconocida, que prevé, para un uso común y repetido, reglas, directrices o características para los productos y métodos de producción conexos, servicios o procesos, cuya observancia no es obligatoria. También puede incluir disposiciones en materia de terminología, símbolos, embalaje, marcado o etiquetado aplicables a un producto, a la prestación de un servicio, a un proceso o método de producción, o tratar exclusivamente de ellas. Incluye Norma Técnica, Norma Técnica Colombiana y Norma Internacional.

**NPSH Altura neta de succión positiva:** (Del inglés *Net Positive Suction Head*). Presión necesaria para mover un fluido desde la cámara de succión hasta el impulsor de la bomba.

**Número de Froude:** Relación entre las fuerzas iniciales y las fuerzas gravitacionales, que representa el efecto de la gravedad sobre el estado de flujo.

**Onda de presión:** Onda generada en el flujo de agua que viaja en una tubería a presión, debido al fenómeno de golpe de ariete.

**Optimización:** Proceso de diseño y/o construcción para lograr la mejor armonía y compatibilidad entre los componentes de un sistema o incrementar su capacidad o la de sus componentes, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles.

**Paramento:** Es la línea que determina el límite de construcción permitida en una obra.

**Pared interna de la tubería:** Zona de contacto entre la tubería y el flujo que pasa a través de ella y que genera las pérdidas de energía debido a la fricción.

**Paso lateral:** Conocido comúnmente como “bypass” es una derivación paralela de una red de tuberías que conecta un punto aguas arriba con un punto aguas abajo de la red, con el fin de tener redundancia en el sistema, en caso de que se realicen operaciones de mantenimiento o emergencia.

**Patrón de consumo:** Comportamiento típico del consumo de agua potable en una red de distribución que depende del lugar, día y hora específica de consumo.

**Pendiente:** Inclinación longitudinal de un canal o ducto.

**Pérdidas comerciales:** Aquellas debidas a volúmenes consumidos no facturados, volúmenes no contabilizados por defectos en los micromedidores, consumos a través de conexiones clandestinas, etc.

**Pérdidas:** Diferencia entre el volumen de agua que entra a un sistema de acueducto y aquel que sale o es facturado, dependiendo del sistema.

**Pérdidas en tanques de almacenamiento:** Son las pérdidas de agua potable por reboses en los tanques de almacenamiento.

**Pérdidas menores:** Pérdida de energía causada por accesorios o válvulas en una conducción de agua.

**Pérdidas técnicas en la red de distribución:** Corresponden a las fugas de agua tanto detectables como no detectables.

**Pérdidas técnicas:** Es la suma de las pérdidas técnicas en la red de distribución más las pérdidas en la conducción, más las pérdidas en los tanques de almacenamiento y compensación.

**Pérdidas por fricción:** Pérdida de energía causada por los esfuerzos cortantes del flujo en las paredes de un conducto.

**Perforación dirigida.** Es una técnica de instalación de tuberías sin apertura de zanja y sin perturbación de la actividad de superficie.

**Período de diseño:** Tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste, en el cual su(s) capacidad(es) permite(n) atender la demanda proyectada para este tiempo.

**Período extendido:** En simulación hidráulica se refiere al cálculo hidráulico y de calidad de agua en una red de distribución de agua potable que se hace para diferentes instantes de tiempo.

**Persona prestadora del servicio:** Son aquellas personas prestadoras que, acorde con la Ley 142 de 1994, suministran agua para consumo humano

**pH:** Es una medida de la acidez o basicidad de una solución y representa la concentración de iones hidronio presentes en determinada sustancia.

**Pitometría:** Conjunto de elementos y actividades destinados a la obtención, procesamiento, análisis y divulgación de datos operacionales, relativos a caudales, volúmenes, presiones y niveles de agua con el fin de obtener diagnósticos específicos respecto a las condiciones, reales o simuladas, de funcionamiento de los componentes de un sistema de acueducto.

**Planimetría:** Estudia los elementos planimétricos del terreno, entendiéndose por ellos todos los elementos naturales y artificiales del mismo que forman su revestimiento, como por ejemplo: ríos, casas, caminos, etc., y los expresa por medio de figuras convencionales (cartográficos).

**Planta de potabilización:** Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

**Población de diseño:** Población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice de cubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para el período de diseño.

**Población de saturación:** Población, definida por el plan de ordenamiento territorial (POT), como la máxima permitida y posible en el tiempo, en una zona determinada de un municipio.

**Población flotante:** Población de alguna localidad que no reside permanentemente en ella y que la habita por un espacio corto de tiempo por razones de trabajo, turismo o alguna otra actividad temporal.

**Polarización inducida:** Método geofísico basado en detectar estructuras subterráneas usando los parámetros de la conductividad o su inversa (Resistividad), cargabilidad eléctrica (IP) y factor metálico.

**Porosidad:** Relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de una muestra de suelo.

**POT:** Plan de ordenamiento territorial Conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo.

**Potencial redox:** Medida de la tendencia que presenta un elemento a reducir u oxidar otros elementos químicos.

**Pozo piezométrico (aguas subterráneas):** Pozo a través del cual es posible conocer el nivel de agua en un acuífero.

**Precisión:** Es el grado de exactitud con respecto a una medida.

**Presión admisible:** Máxima presión, dada por el fabricante, que puede soportar una tubería.

**Presión atmosférica:** Presión del aire sobre la superficie terrestre.

**Presión de trabajo:** Es la presión nominal a la cual la tubería debería trabajar normalmente durante su vida útil.

**Presión de vapor:** Presión a la que, a cada temperatura, las fases líquida y gaseosa de un líquido se encuentran en equilibrio.

**Presión dinámica:** Presión que se presenta en un conducto con el paso de agua a través de él.

**Presión estática:** Presión en un conducto cuando no hay flujo a través de él.

**Presión freática:** Presión ejercida por el agua acumulada en el suelo.

**Presión hidrostática:** Presión ejercida sobre un cuerpo debida al peso del agua.

**Presión manométrica:** Presión que ejerce un sistema en comparación con la presión atmosférica.

**Presión negativa:** Presión en un conducto cuando la presión interna es menor a la presión atmosférica.

**Presión nominal:** Presión interna máxima a la cual puede estar sometida una tubería, considerando un factor de seguridad, y que es dada por el fabricante según las normas técnicas correspondientes.

**Profundidad crítica:** Profundidad de agua que corresponde al estado crítico para un caudal determinado.

**Profundidad de instalación:** Distancia vertical entre la superficie del terreno y la cota clave de una tubería o ducto.

**Protocolo de pruebas:** Serie de pruebas y mediciones de campo con el fin de comparar el comportamiento hidráulico de lo establecido en el diseño con lo construido en campo.

**Prueba de bombeo (aguas subterráneas):** Procedimiento de campo por medio del cual se busca determinar los parámetros hidráulicos de un acuífero.

**Prueba escalonada:** Prueba de bombeo realizada con diferentes caudales en un período de tiempo determinado, para calcular las pérdidas de cabeza hidráulica en un pozo de bombeo.

**Punto muerto:** Ver zona muerta.

**Radio hidráulico:** Relación entre el área mojada y el perímetro mojado de una sección transversal de un ducto.

**Rápida:** Caída inclinada de agua con una pendiente alta.

**Rebosadero:** Estructura hidráulica destinada a evitar que el nivel del agua sobrepase una cota determinada; permite la evacuación del agua de exceso en un embalse, tanque o cualquier estructura que almacene agua hacia un lugar conveniente.

**Rebose:** Estructura cuyo fin es captar y desviar el exceso de caudal de agua que transporta o almacena un sistema de acueducto.

**Recarga artificial (aguas subterráneas):** Método para recargar con agua artificialmente un acuífero.

**Recubrimiento externo:** Ver revestimiento.

**Recubrimiento interno:** Ver revestimiento.

**Red cerrada:** Sistema de tuberías que se caracteriza por tener algún circuito cerrado, con el objetivo de tener un sistema redundante, aumentando así la confiabilidad del sistema.

**Red de conducción:** Serie de tuberías que transportan el agua desde las plantas de tratamiento hacia los tanques de almacenamiento y/o compensación, o entre tanques, sin conexión de suscriptores.

**Red de distribución:** Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.

**Red matriz:** Parte de la red de distribución que conforma la malla principal de servicio de una población y que distribuye el agua procedente de la conducción, planta de tratamiento o tanques de compensación a las redes secundarias. La red primaria mantiene las presiones básicas de servicio para el funcionamiento correcto de todo el sistema, y generalmente no reparte agua en ruta.

**Red menor de distribución:** Red de distribución que se deriva de la red secundaria y llega a los puntos de consumo.

**Red primaria de distribución:** Véase red matriz.

**Red secundaria de distribución:** Parte de la red de distribución que se deriva de la red primaria y que distribuye el agua a los barrios y urbanizaciones de la ciudad y que puede repartir agua en ruta.

**Registro de corte:** Dispositivo de suspensión del servicio de acueducto de un inmueble, situado en la cajilla de andén del medidor.

**Rejilla:** Dispositivo instalado en una captación para impedir el paso de elementos flotantes o sólidos grandes.

**Rejilla (aguas subterráneas):** Tubería con ranuras para permitir el flujo de agua subterránea en un pozo.

**Relación de Poisson:** Es una medida de la contracción lateral de un material.

**Relación diámetro espesor (RDE):** Es un número adimensional que describe la relación del diámetro externo sobre el espesor mínimo de la pared del tubo.

**Relé:** Es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

**Rendimiento eficaz (o producción eficaz, o rendimiento específico):**

Volumen de agua que un acuífero libre puede drenar por gravedad por unidad de área por unidad de descenso de nivel. Es igual al volumen de agua drenado por gravedad por el volumen de acuífero drenado.

**Resalto hidráulico:** Fenómeno hidráulico en el cual se presenta un cambio abrupto de régimen de flujo, se pasa de una corriente rápida y con profundidad baja (flujo supercrítico) a una corriente lenta y profunda (flujo subcrítico).

**Resistividad del suelo:** Es la propiedad que tiene el suelo para conducir la energía eléctrica, es conocida además como la resistencia específica del terreno.

**Retiro:** Es el ancho mínimo a cada lado de una tubería, que se debe dejar para permitir en forma cómoda realizar las tareas de inspección y mantenimiento.

**Revestimiento:** Aplicación sobre la superficie interna o externa de un material con el fin de protegerlo contra la corrosión, erosión, etc.

**Riesgo:** Potenciales consecuencias económicas, sociales o ambientales que se pueden generar como resultado de los daños o la pérdida de función de un sistema durante un tiempo de exposición definido. Se expresa matemáticamente, como la probabilidad de exceder una pérdida en un sitio y durante un lapso determinado, resultado de relacionar la vulnerabilidad del sistema y la amenaza a la cual se encuentra sometido.

**Rugosidad absoluta:** Ver coeficiente de rugosidad.

**Salida para medición:** Salida practicada en una conducción, obturable con registro y válvula de incorporación, con el objeto de permitir la instalación de un aparato de medición o muestreo como pitómetro, medidores de la velocidad de flujo, etc.

**SCADA:** (Del Inglés *Supervisory Control And Data Acquisition*). Sistema de monitoreo que permite a un operador desde una ubicación remota visualizar medidas en tiempo real y controlar la operación de elementos de un sistema de distribución de agua potable.

**Sectorización:** Corresponde a la división del área total de una red de distribución, en zonas de estudio que permiten determinar diferencias en los factores de pérdidas de manera más detallada, y tomar acciones operativas. Es la división de una red de distribución en dos o más sectores hidráulicos, en la que cada sector con puntos definidos de alimentación o entrada de agua, opera independientemente, garantizando la prestación óptima del servicio a los usuarios comprendidos dentro de cada sector.

**Sedimentación:** Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad.

**Separación de columna:** Fenómeno producido por la acción de un golpe de ariete, en el cual se crea un vacío por la entrada de aire que perturba la columna de líquido que transporta una tubería.

**Sistema de información geográfico (SIG):** Sistema de información que permite relacionar una base de datos que esté georreferenciada, y así poder

generar mapas de acuerdo con la información disponible dentro del proyecto. Determina de una manera rápida y eficaz, los planos de tuberías de acuerdo con la rugosidad, pérdidas menores, edad, diámetro, o caudal según se requiera. Así mismo permite generar planos de estratificación de usuarios de una manera ágil.

**Sistema experto:** Son programas de computador que se especializan en una rama determinada del conocimiento; utilizan inteligencia artificial para poder decidir sobre el problema que se les plantea y a la vez tienen la capacidad de aprender.

**Sistema hidroneumático:** Sistema compuesto por una bomba, un tanque presurizado, válvulas, accesorios eléctricos y un compartimiento para almacenamiento de agua, el cual permite a los usuarios contar con un servicio de agua con suficiente presión en todos los aparatos hidrosanitarios.

**Sistemas de acueducto:** Conjunto de elementos y estructuras cuya función es la captación de agua, el tratamiento, el transporte, almacenamiento y entrega al usuario final, de agua potable con unos requerimientos mínimos de calidad, cantidad y presión.

**Sistemas de alcantarillado:** Conjunto de elementos y estructuras cuya función es la recolección, transporte y evacuación hacia las plantas de tratamiento y/o cuerpos receptores de agua, de las aguas residuales y/o lluvias producidas en una ciudad o municipio.

**Sistema de posicionamiento global:** Sistema que a través de satélites, permite determinar en todo el mundo la posición de una persona, un elemento o una nave, con una gran precisión.

**Sobrepresión:** Efecto del golpe de ariete, causado por el aumento repentino y en gran magnitud de presión debido a la apertura de una válvula, al apagado de una bomba, etc.

**Socavación:** Perturbación y afectación de una zona (canal, río, estructura) por efecto del paso de agua a grandes velocidades.

**Sostenibilidad:** La sostenibilidad se refiere al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno. Por extensión se aplica a la explotación de un recurso por debajo del límite de renovabilidad del mismo. La sostenibilidad consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades.

**Subpresión:** Efecto del golpe de ariete, causado por la disminución repentina y en gran magnitud de la presión debido al cierre de una válvula, dejando la tubería vacía.

**Suelo Urbano:** Constituyen el suelo urbano, las áreas del territorio distrital o municipal destinadas a usos urbanos por el plan de ordenamiento, que cuenten con infraestructura vial y redes primarias de energía, acueducto y alcantarillado, posibilitándose su urbanización y edificación, según sea el caso. Podrán pertenecer a esta categoría aquellas zonas con procesos de urbanización incompletos,

comprendidos en áreas consolidadas con edificación, que se definan como áreas de mejoramiento integral en los planes de ordenamiento territorial.

Las áreas que conforman el suelo urbano serán delimitadas por perímetros y podrán incluir los centros poblados de los corregimientos. En ningún caso el perímetro urbano podrá ser mayor que el denominado perímetro de servicios públicos o sanitario.

**Sumergencia:** Acción de estar inmerso en agua relacionada con sistemas de tubería-bomba.

**Suscriptor:** Persona natural o jurídica con la cual se ha celebrado un contrato de condiciones uniformes de servicios públicos.

**Suspensión del servicio:** Interrupción en la operación del sistema de distribución de agua potable debido a operaciones de emergencia y/o mantenimiento.

**Sustancias potencialmente tóxicas:** Son aquellas de origen natural o sintético que pueden ocasionar efectos nocivos a organismos con los cuales entran en contacto. Incluye sustancias utilizadas en actividades domésticas, producción de bienes o servicios y plaguicidas, que pueden estar presentes en el agua para consumo humano.

**Tabla de agua:** Ver nivel freático.

**Tanque de almacenamiento:** Depósito de agua en un sistema de acueducto, cuya función es suplir las necesidades de demanda en los momentos picos, permitiendo una recuperación del volumen en las horas de bajo consumo, para poder suministrar sin problemas en las máximas demandas.

**Tanque de compensación:** Depósito de agua en un sistema de acueducto con capacidad de almacenamiento muy baja, cuya función es actuar como un regulador de presión o quiebre de presión en sistemas de bombeo.

**Tanque de succión:** Tanque de almacenamiento desde el cual una bomba succiona el agua que impulsa hacia otro punto de una red.

**Tasa por uso del agua:** Es aquella que cobrará la autoridad ambiental competente a las personas naturales o jurídicas, por la utilización del agua en virtud de una concesión de aguas. Cuando el usuario utilice la red de acueducto, la Autoridad Ambiental Competente cobrará la tasa únicamente a la entidad que presta dicho servicio.

**Tasa retributiva:** Es aquella que cobrará la autoridad ambiental competente a las personas naturales o jurídicas, de derecho público o privado, por la utilización directa o indirecta del recurso como receptor de vertimientos puntuales y sus consecuencias nocivas, originados en actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, actividades económicas o de servicios, sean o no lucrativas. Cuando el usuario vierte a la red de alcantarillado, la autoridad ambiental competente cobrará la tasa únicamente a la entidad que presta dicho servicio.

**Tecnologías de información:** Es un término que agrupa todo lo relacionado con la computación, programas, comunicaciones y equipos que sirven para administrar y analizar las grandes cantidades de información que el mundo moderno usa a diario.

**Tecnologías sin zanja:** Técnicas de instalación y renovación de tuberías sin apertura de zanjas que afecten la superficie del terreno.

**Telemetría:** Conjunto de datos, normalmente mediciones, transmitidos desde un sensor remoto a un receptor.

**Termofusión:** Método de soldadura simple y rápido para unir tubos de polietileno y sus accesorios. La superficie de las partes que se van a unir se calientan a temperatura de fusión y se unen por aplicación de presión, con acción mecánica o hidráulica, de acuerdo al tamaño de la tubería y sin usar elementos adicionales de unión.

**Tiempo de recuperación (aguas subterráneas):** Tiempo que tarda un acuífero en volver a tener el nivel freático anterior a una extracción de agua.

**Tiempo de vaciado:** Es el tiempo requerido para desocupar un tanque de almacenamiento o de compensación.

**TIG (Del inglés Tungsten Inert Gas):** Soldadura en una atmósfera con gas inerte que emplea un electrodo de tungsteno.

**Tipo de usuario:** Diferentes clases de usuarios que pueden existir a saber: residenciales, industriales, comerciales, institucionales y otros.

**Topología:** Es toda aquella información que define el recorrido y la distribución de una red de tuberías.

**Transductor de presión:** Aparato que recibe una señal y la transforma en términos de presión.

**Transmisividad hidráulica:** Producto de la conductividad hidráulica por el espesor saturado de un acuífero. Representa el caudal que pasa a través de todo el espesor de un acuífero, en un ancho unitario, bajo un gradiente unitario.

**Tuberculización:** Deterioro de la pared interna de una tubería debido a fenómenos de incrustación y corrosión.

**Tubería:** Ducto de sección circular para el transporte de agua.

**Tubería de impulsión:** Tubería de salida de un equipo de bombeo.

**Tubería de succión:** Tubería de entrada a un equipo de bombeo.

**Tubería flexible:** Los materiales de tuberías que clasifican como flexibles son aquellos que derivan su capacidad de carga ante las cargas del terreno a partir de la interacción de la tubería flexible y del suelo circundante el cual trabaja por la deflexión de la tubería hasta el punto de equilibrio bajo carga.

**Tubería rígida:** Los materiales de tuberías que clasifican como rígidos son aquellos que derivan una parte substancial de su capacidad de carga ante las cargas del terreno a partir de la resistencia estructural del elemento asociada a la rigidez misma de la pared de la tubería.

**Turbiedad:** Es una medida de la nubosidad en el agua y es un indicador de la efectividad de los sistemas de filtración del agua.

**Unión:** Accesorio cuya función es conectar tuberías y accesorios entre sí, como parte de una red de distribución de agua potable.

**Usuario:** Persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien como propietario del inmueble en donde éste se presta, o como receptor directo del servicio. A este último usuario se le conoce también como consumidor. (Ley 142 de 1994)

**Válvula:** Accesorio cuyo objetivo es regular y controlar el caudal y la presión de agua en una red de conducción y/o distribución de agua potable.

**Válvulas de compuerta:** Válvulas utilizadas para el cierre o apertura de tramos de tuberías en las redes de distribución secundaria. No se utilizan en las redes de distribución primaria, salida o entrada de tanques, descargas en tuberías o tanques.

**Válvulas de descarga o purga:** Válvulas utilizadas para la limpieza y descarga de la red, tanto en la distribución secundaria como en la primaria.

**Válvulas de flujo o paso anular:** Válvulas utilizadas para reducir presión a la entrada de tanques o en puntos intermedios de las conducciones.

**Válvulas de sectorización:** Son dispositivos que cierran el paso del agua en las tuberías de distribución, con el fin de sectorizar la red. Usualmente son válvulas de compuerta con vástago fijo o válvulas mariposa con mecanismo de reducción de velocidad de cierre para evitar golpe de ariete.

**Válvulas de sobrevelocidad:** Válvulas utilizadas cuando se requiera cerrar o aislar una tubería ante un cambio repentino de caudal (fijado).

**Válvulas mariposa:** Válvulas utilizadas en la red de distribución primaria o secundaria para el cierre o apertura de tramos (on/off-control de flujo); utilizadas principalmente a la salida de tanques, en sitios para aislar macromedidores de gran tamaño.

**Válvulas reguladoras de presión:** Válvulas utilizadas para regular o reducir presión en la red de distribución primaria o secundaria.

**Válvulas sostenedoras de presión:** Válvulas utilizadas para mantener una presión aguas arriba, independiente de las variaciones de caudal.

**Válvulas ventosas:** Válvulas utilizadas para admisión y expulsión de aire en los procesos de vaciado y llenado de tuberías.

**Vertimiento:** Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.

**Vertimiento puntual:** El que se realiza a partir de un medio de conducción, del cual se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo.

**Vida media del agua:** Ver edad media del agua.

**Vida útil:** Tiempo estimado para la duración de un equipo o componente de un sistema sin que sea necesaria la sustitución del mismo; en este tiempo solo se requieren labores de mantenimiento para su adecuado funcionamiento.

**Viscosidad absoluta:** La viscosidad absoluta es una propiedad de los fluidos que indica la mayor o menor resistencia que estos ofrecen al movimiento de sus partículas cuando son sometidos a un esfuerzo cortante.

**Vulnerabilidad:** Predisposición intrínseca de un sistema de ser afectado o de ser susceptible a sufrir daños o pérdida de su función, como resultado de la ocurrencia de un evento que caracteriza una amenaza.

**Zona de presión de la red de distribución:** Es una de las partes en que se divide la red de acueducto para evitar que las presiones mínimas, dinámica y máxima estática sobrepasen los límites.

**Zona muerta:** Punto de una red de distribución en el cual se presentan velocidades muy bajas o nulas.