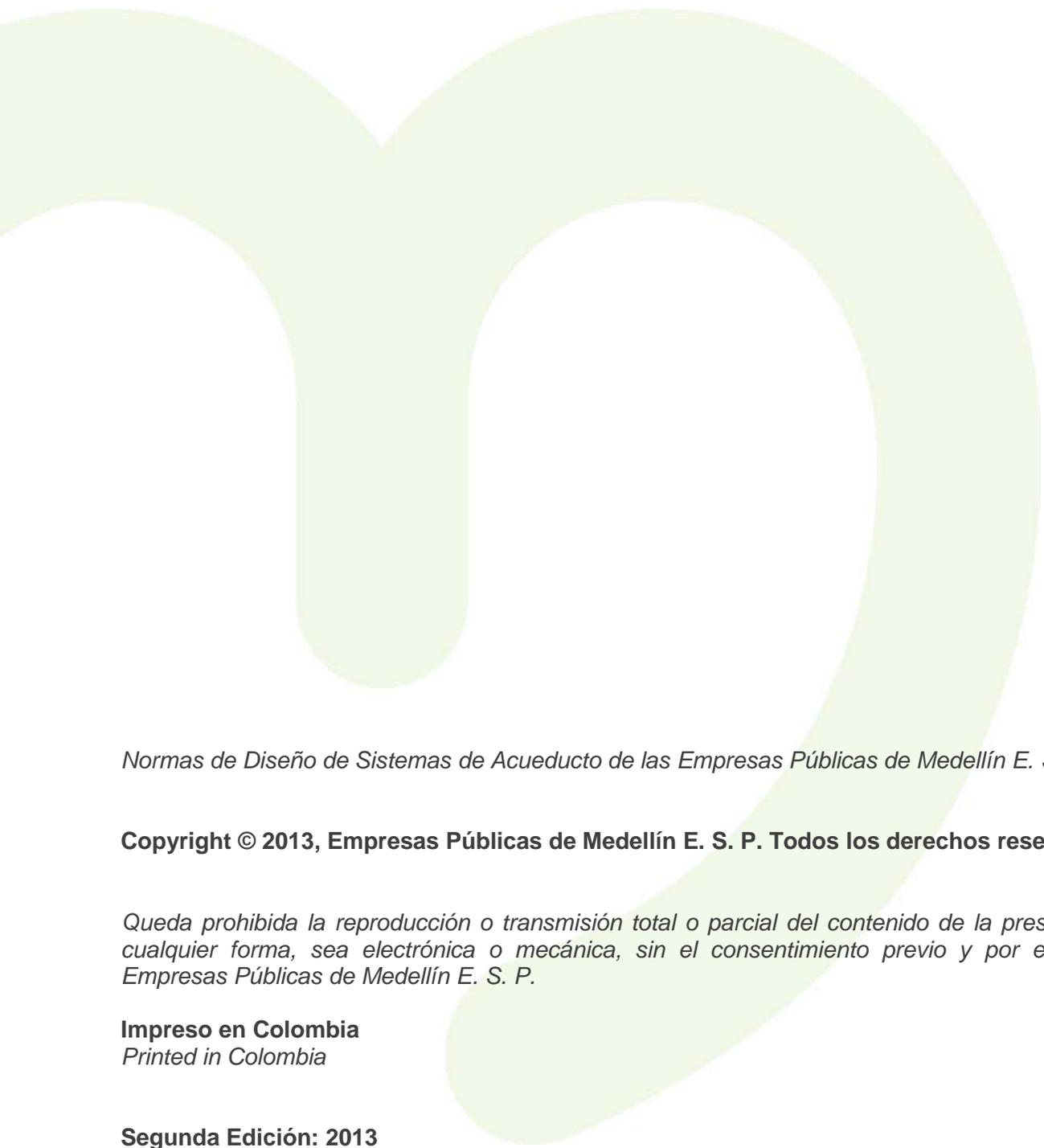
A large, light green, stylized graphic element resembling a thick, curved line or a partial circle, positioned behind the main text.

*Normas de Diseño de Sistemas de  
Acueducto de las Empresas Públicas de  
Medellín E. S. P.*

**Empresas Públicas de Medellín E. S. P.**

A solid green curved bar at the bottom of the page, matching the color of the other green elements.



*Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de las Empresas Públicas de Medellín E. S. P.*

**Copyright © 2013, Empresas Públicas de Medellín E. S. P. Todos los derechos reservados.**

*Queda prohibida la reproducción o transmisión total o parcial del contenido de la presente obra en cualquier forma, sea electrónica o mecánica, sin el consentimiento previo y por escrito de las Empresas Públicas de Medellín E. S. P.*

**Impreso en Colombia**  
*Printed in Colombia*

**Segunda Edición: 2013**



## TABLA DE CONTENIDO

<b>PREFACIO .....</b>	<b>1-12</b>
<b>PARTICIPANTES .....</b>	<b>1-13</b>
<b>Capítulo 1 REFERENCIACIÓN GENERAL.....</b>	<b>1-14</b>
1.1 SISTEMA DE UNIDADES .....	1-14
1.2 VARIABLES.....	1-15
1.3 ABREVIATURAS.....	1-17
1.4 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS.....	1-17
1.4.1 Normas técnicas colombianas .....	1-17
1.4.2 Normas técnicas internacionales.....	1-19
1.4.3 Otras normas y/o guías técnicas .....	1-22
1.4.4 Normas y manuales de EPM.....	1-22
1.5 LEYES, DECRETOS Y LEGISLACIÓN PERTINENTE.....	1-22
1.5.1 Leyes y Decretos Nacionales .....	1-22
1.5.2 Decretos internos de EPM.....	1-23
1.6 DEFINICIONES .....	1-23
<b>Capítulo 2 ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO .....</b>	<b>2-36</b>
2.1 ALCANCE.....	2-36
2.2 PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO .....	2-36
2.2.1 PASO 1 - Definición del tamaño del sistema.....	2-36
2.2.2 PASO 2 - Conocimiento del marco institucional.....	2-37
2.2.3 PASO 3 - Aspectos legales.....	2-37
2.2.4 PASO 4 - Aspectos ambientales relacionados con el sistema de acueducto .....	2-38
2.2.5 PASO 5 - Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previstos para los municipios atendidos por EPM. ....	2-38
2.2.6 PASO 6 – Evaluación socioeconómica .....	2-38
2.2.7 PASO 7 - Definición del alcance del Proyecto.....	2-39
2.2.8 PASO 8 - Estudios previos .....	2-39
2.2.9 PASO 9 – Generación de alternativas y optimización.....	2-39
2.2.10 PASO 10 – Diseño y requerimientos técnicos.....	2-39
2.2.11 PASO 11 - Construcción e interventoría.....	2-39
2.2.12 PASO 12 - Puesta en marcha, operación y mantenimiento del sistema de acueducto .....	2-40
2.3 TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN PARA LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO .....	2-40
2.3.1 Sistemas de Información Geográfica.....	2-40
2.3.2 Programas de diseño de redes de acueducto .....	2-40
2.4 PLANOS Y MEMORIAS DE CÁLCULO .....	2-40
2.4.1 Planos .....	2-40
2.4.2 Memorias de cálculo .....	2-40
2.5 CALIDADES Y REQUISITOS DE LOS PROFESIONALES.....	2-41
2.5.1 Aspectos Generales.....	2-41
2.5.2 Calidad de los diseñadores y de los interventores o revisores de diseño.....	2-41
2.5.3 Personal auxiliar profesional y no profesional .....	2-42
2.6 COMITÉ ASESOR DE LAS NORMAS.....	2-42
2.6.1 Propósito.....	2-42
2.6.2 Integración .....	2-42
2.6.3 Funciones.....	2-42
2.7 TIPOS DE SUELO Y OBRAS.....	2-43
2.7.1 Tipos de suelo para obras de sistemas de acueducto .....	2-43
2.7.2 Tipo de obras de acueducto .....	2-43
<b>ANEXO 2.1 EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA.....</b>	<b>2-44</b>

<b>Capítulo 3</b>	<b>POBLACIÓN, DOTACIÓN Y DEMANDA .....</b>	<b>3-45</b>
3.1	ALCANCE .....	3-45
3.2	ESTIMACIÓN DE LOS USUARIOS DEL SISTEMA .....	3-45
3.2.1	Proyección de clientes al período de diseño del proyecto .....	3-45
3.2.2	Censos de Medellín y municipios atendidos por EPM .....	3-46
3.2.3	Censos de vivienda.....	3-46
3.2.4	Densidades actuales y futuras.....	3-46
3.2.5	Métodos de cálculo .....	3-46
3.2.6	Ajuste por población flotante y población migratoria .....	3-47
3.3	USOS DEL AGUA .....	3-47
3.3.1	Uso residencial .....	3-47
3.3.2	Uso comercial .....	3-47
3.3.3	Uso industrial .....	3-47
3.3.4	Uso Oficial.....	3-47
3.3.5	Uso Especial .....	3-47
3.4	DOTACIÓN NETA .....	3-48
3.4.1	Dotación neta mínima .....	3-48
3.4.2	Estimación de la dotación neta por comparación con barrios, circuitos o municipios similares .	3-48
3.5	PÉRDIDAS .....	3-48
3.5.1	Pérdidas técnicas en la conducción y en los tanques de almacenamiento y/o compensación..	3-48
3.5.2	Pérdidas técnicas en la red de distribución .....	3-48
3.5.3	Pérdidas técnicas.....	3-49
3.5.4	Pérdidas comerciales en la red de distribución .....	3-49
3.6	DOTACIÓN BRUTA.....	3-49
3.7	DEMANDA DE AGUA.....	3-50
3.7.1	Caudal Medio Diario .....	3-50
3.7.2	Caudal Máximo Diario.....	3-50
3.7.3	Caudal Máximo Horario .....	3-50
3.7.4	Coefficiente de Caudal Máximo Diario $k_1$ .....	3-50
3.7.5	Coefficiente de Caudal Máximo Horario con relación al Caudal Máximo Diario $k_2$ .....	3-50
3.7.6	Gran Consumidor.....	3-50
3.7.7	Curva de demanda para los municipios atendidos por EPM.....	3-51
3.8	CAUDAL DE INCENDIOS .....	3-51
<b>Capítulo 4</b>	<b>CONDUCCIONES.....</b>	<b>4-52</b>
4.1	ALCANCE .....	4-52
4.2	ESTUDIOS PREVIOS .....	4-52
4.2.1	Concepción del proyecto .....	4-52
4.2.2	Diagnóstico de la Infraestructura existente.....	4-52
4.2.3	Estudio de la demanda .....	4-53
4.2.4	Aspectos generales de la zona de la conducción .....	4-53
4.2.5	Estudios topográficos.....	4-53
4.2.6	Condiciones geológicas .....	4-53
4.2.7	Calidad de agua .....	4-54
4.2.8	Cuerpos receptores de aguas de lavado de la red.....	4-54
4.2.9	Estudio de suelos.....	4-54
4.2.10	Interferencia con otras redes y corrientes eléctricas .....	4-56
4.2.11	Aspectos ambientales .....	4-56
4.3	CONDICIONES GENERALES .....	4-56
4.3.1	Recomendaciones de trazado .....	4-57
4.3.2	Tipos de conducción .....	4-58
4.3.3	Facilidad de acceso a cajas de válvulas y accesorios .....	4-58
4.3.4	Protección contra la contaminación .....	4-58
4.3.5	Vulnerabilidad y confiabilidad de la línea de conducción .....	4-58
4.3.6	Control de crecimiento y desprendimiento de biopelículas .....	4-60
4.3.7	Lavado para remoción de biopelículas .....	4-60

4.3.8	Retiros (anchos de servidumbres).....	4-60
4.4	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	4-60
4.4.1	Período de diseño.....	4-60
4.4.2	Caudal de diseño.....	4-60
4.4.3	Pérdidas de agua en conducciones.....	4-61
4.4.4	Calidad de agua en la red de conducción.....	4-61
4.4.5	Requisitos de tuberías.....	4-61
4.4.6	Materiales para las tuberías de conducción.....	4-62
4.4.7	Especificaciones y control de calidad de tuberías para conducciones.....	4-64
4.4.8	Presiones en la red de conducciones.....	4-65
4.4.9	Diámetros de tuberías en la red de conducciones.....	4-66
4.4.10	Velocidades en las tuberías de conducción.....	4-67
4.4.11	Velocidades para control de biopelículas.....	4-67
4.4.12	Velocidades para remoción de biopelículas.....	4-67
4.4.13	Pendientes de las tuberías de conducción.....	4-67
4.4.14	Profundidad de instalación de las tuberías a cota clave.....	4-68
4.4.15	Generación de alternativas.....	4-69
4.5	DISEÑO DE LAS CONDUCCIONES.....	4-69
4.5.1	Diseño hidráulico de conducciones en redes.....	4-69
4.5.2	Modelo hidráulico de la red y estructuración.....	4-70
4.5.3	Cálculo hidráulico de tuberías simples.....	4-71
4.5.4	Calidad del agua.....	4-75
4.5.5	Corrosión en tuberías.....	4-76
4.5.6	Recubrimientos y protección de Tuberías.....	4-76
4.5.7	Accesorios y estructuras para las tuberías de conducción.....	4-77
4.5.8	Estructuras complementarias para conducciones.....	4-83
4.5.9	Golpe de ariete en conducciones.....	4-85
4.5.10	Análisis de puntos muertos en las conducciones.....	4-85
4.5.11	Estructuras para el lavado de las conducciones.....	4-86
4.5.12	Comprobación del diseño de las conducciones bajo diferentes condiciones de operación.....	4-89
4.5.13	Protocolo de pruebas dado por el diseñador.....	4-90
4.5.14	Uso de tecnologías de información para el diseño de conducciones.....	4-90
4.6	OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	4-91
4.6.1	Macromedición.....	4-91
4.6.2	Dimensionamiento estructural de las tuberías.....	4-92
4.6.3	Colocación y nivelación de las tuberías de conducciones.....	4-95
4.6.4	Análisis de interferencias.....	4-95
4.6.5	Instalación de las tuberías.....	4-95
4.6.6	Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos.....	4-96
4.7	REFERENCIACIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONDUCCIONES.....	4-96
4.7.1	Catastro de la red.....	4-96
4.7.2	Referenciación.....	4-96
4.7.3	Sistemas de información geográfica.....	4-97
4.7.4	Uso de la referenciación en conjunto con las herramientas de tecnología de información.....	4-97
4.8	ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA DE LA CONDUCCIÓN.....	4-97
4.8.1	Pruebas hidrostáticas.....	4-97
4.8.2	Medición de caudales.....	4-98
4.8.3	Línea piezométrica de la conducción.....	4-98
4.8.4	Desinfección de la conducción.....	4-98
4.8.5	Golpe de Ariete.....	4-99
4.8.6	Accesorios y Válvulas.....	4-99
4.8.7	Válvulas de lavado y purga.....	4-99
4.8.8	Ventosas.....	4-100
4.9	ASPECTOS DE LA OPERACIÓN DE LA CONDUCCIÓN.....	4-100
4.9.1	Mediciones de caudal.....	4-100
4.9.2	Golpe de Ariete.....	4-100

4.9.3	Línea Piezométrica .....	4-100
4.9.4	Instrumentación y telemetría en las conducciones.....	4-101
4.9.5	Reglas de operación para evitar desprendimientos de biopelículas y resuspensión de depósitos inorgánicos.....	4-101
4.9.6	Lavado de las tuberías de conducción .....	4-101
4.9.7	Calidad de agua en las conducciones .....	4-102
4.9.8	Uso de tecnologías de información para la operación de conducciones .....	4-102
4.10	<b>ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO DE LAS CONDUCCIONES.....</b>	<b>4-103</b>
4.10.1	Mantenimiento correctivo y preventivo .....	4-103
4.10.2	Suspensión del servicio por mantenimiento .....	4-103
4.10.3	Registro de mantenimientos .....	4-103
4.10.4	Disponibilidad de repuestos.....	4-103
4.10.5	Válvulas de purga .....	4-104
4.10.6	Verificación de asentamientos en los anclajes.....	4-104
4.10.7	Limpieza de tuberías y desprendimiento de biopelículas y/o depósitos inorgánicos.....	4-104
4.10.8	Limpieza de canales de descarga y estructuras de disipación de energía .....	4-104
4.10.9	Mantenimiento de accesorios .....	4-104
4.10.10	Uso de tecnologías de información para labores de mantenimiento .....	4-104
4.10.11	Aspectos ambientales en la Operación y Mantenimiento .....	4-105
	<b>Anexo 4.1 GOLPE DE ARIETE EN CONDUCCIONES.....</b>	<b>4-106</b>
	<b>Capítulo 5 REDES DE DISTRIBUCIÓN .....</b>	<b>5-111</b>
5.1	ALCANCE.....	5-111
5.2	ESTUDIOS PREVIOS .....	5-111
5.2.1	Concepción del proyecto .....	5-111
5.2.2	Diagnóstico de la Infraestructura existente.....	5-112
5.2.3	Estudio de la demanda .....	5-112
5.2.4	Distribución espacial de la demanda .....	5-112
5.2.5	Aspectos generales de la zona de la red de distribución .....	5-113
5.2.6	Estudios topográficos.....	5-114
5.2.7	Condiciones geológicas .....	5-114
5.2.8	Calidad de agua.....	5-115
5.2.9	Estudio de suelos.....	5-115
5.2.10	Interferencia con otras redes y corrientes eléctricas .....	5-115
5.2.11	Aspectos ambientales en la etapa de Planeación y Diseño.....	5-116
5.3	CONDICIONES GENERALES PARA LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN .....	5-116
5.3.1	Recomendaciones sobre el trazado de la red de distribución.....	5-116
5.3.2	Capacidad de la red.....	5-118
5.3.3	Delimitación de sectores hidráulicos .....	5-119
5.3.4	Sectorización del servicio .....	5-120
5.3.5	Topología de la red de distribución.....	5-120
5.3.6	Facilidad de acceso .....	5-121
5.3.7	Protección contra la contaminación.....	5-121
5.3.8	Vulnerabilidad de deformación la red de distribución.....	5-121
5.3.9	Control de crecimiento y desprendimiento de biopelículas .....	5-121
5.3.10	Lavado para remoción de biopelículas .....	5-122
5.4	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	5-122
5.4.1	Período de diseño.....	5-122
5.4.2	Caudal de diseño .....	5-122
5.4.3	Pérdidas de agua en la red de distribución .....	5-122
5.4.4	Calidad de agua en la red de distribución .....	5-123
5.4.5	Deflexión de las tuberías de la red de distribución.....	5-123
5.4.6	Materiales para las tuberías de la red de distribución .....	5-124
5.4.7	Presiones en la red de distribución.....	5-125
5.4.8	Diámetros de las tuberías en la red de distribución .....	5-126
5.4.9	Velocidades en las tuberías de la red de distribución .....	5-126
5.4.10	Velocidades para remoción de biopelículas .....	5-127

5.4.11	Pendientes en las tuberías de la red de distribución .....	5-127
5.4.12	Profundidad de instalación de las tuberías a cota clave .....	5-127
5.4.13	Generación de alternativas .....	5-128
5.5	<b>DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN.....</b>	<b>5-129</b>
5.5.1	Diseño hidráulico de las redes de distribución .....	5-129
5.5.2	Modelo hidráulico de la red y estructuración .....	5-129
5.5.3	Cálculo de caudales por nudo .....	5-130
5.5.4	Cálculo hidráulico de tuberías simples .....	5-131
5.5.5	Calidad de agua .....	5-132
5.5.6	Recubrimiento y protección de tuberías .....	5-132
5.5.7	Análisis de puntos muertos en la red de distribución .....	5-133
5.5.8	Comprobación de diseño bajo diferentes condiciones de operación .....	5-133
5.5.9	Protocolo de pruebas dado por el diseñador .....	5-133
5.5.10	Uso de tecnologías de información para el diseño de redes de distribución .....	5-134
5.6	<b>OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO .....</b>	<b>5-134</b>
5.6.1	Dimensionamiento estructural de las tuberías.....	5-134
5.6.2	Localización y nivelación de las tuberías de la red de distribución .....	5-135
5.6.3	Análisis de interferencias .....	5-135
5.6.4	Instalación de las tuberías .....	5-135
5.6.5	Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos .....	5-136
5.6.6	Contraflujos.....	5-136
5.6.7	Planos y memorias de cálculo .....	5-136
5.7	<b>ACCESORIOS Y ESTRUCTURAS PARA LAS TUBERÍAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ..</b>	<b>5-136</b>
5.7.1	Aspectos generales .....	5-136
5.7.2	Válvulas.....	5-137
5.7.3	Accesorios para el lavado de las tuberías .....	5-145
5.7.4	Apoyos de las tuberías .....	5-145
5.7.5	Macromedidores .....	5-146
5.7.6	Salidas para mediciones.....	5-146
5.7.7	Dispositivos para autorregulación.....	5-147
5.7.8	Hidrantes.....	5-147
5.7.9	Estructuras complementarias para las redes de distribución .....	5-149
5.8	<b>ACOMETIDAS Y MEDIDORES.....</b>	<b>5-151</b>
5.8.1	Acometidas domiciliarias .....	5-151
5.8.2	Medidores domiciliarios .....	5-153
5.9	<b>REFERENCIACIÓN DE COMPONENTES .....</b>	<b>5-153</b>
5.9.1	Convenciones que deben utilizarse.....	5-153
5.9.2	Referenciación de las redes de acueducto.....	5-153
5.10	<b>PROYECTOS URBANÍSTICOS.....</b>	<b>5-154</b>
5.10.1	Requisitos para aprobación del diseño.....	5-154
5.10.2	Alcance .....	5-155
5.10.3	Consideraciones generales .....	5-155
5.10.4	Parámetros de diseño .....	5-155
5.10.5	Protocolo de pruebas.....	5-157
5.11	<b>ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN.....</b>	<b>5-157</b>
5.11.1	Presiones en la red de distribución.....	5-157
5.11.2	Desinfección de la red de distribución .....	5-157
5.11.3	Golpe de ariete .....	5-157
5.11.4	Válvulas.....	5-158
5.11.5	Hidrantes.....	5-159
5.11.6	Acometidas .....	5-159
5.11.7	Macromedidores .....	5-159
5.11.8	Micromedidores .....	5-160
5.12	<b>ASPECTOS DE LA OPERACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN .....</b>	<b>5-160</b>
5.12.1	Presiones en la red de distribución.....	5-160
5.12.2	Hidrantes.....	5-160

5.12.3	Válvulas.....	5-160
5.12.4	Circuitos y subcircuitos de la red de distribución.....	5-161
5.12.5	Calibración de la red de distribución.....	5-161
5.12.6	Control de presiones en la red de distribución .....	5-163
5.12.7	Reglas de operación para evitar desprendimientos de biopelículas y/o resuspensión de depósitos inorgánicos.....	5-163
5.12.8	Lavado de tuberías de la red de distribución.....	5-163
5.12.9	Calidad de agua en la red de distribución .....	5-163
5.12.10	Uso de programas de simulación de redes para la operación.....	5-164
5.12.11	Uso de tecnologías de información para la operación de las redes .....	5-164
5.13	<b>ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN.....</b>	<b>5-164</b>
5.13.1	Suspensión del servicio .....	5-164
5.13.2	Reparación de Tuberías y Accesorios.....	5-165
5.13.3	Disponibilidad de repuestos.....	5-165
5.13.4	Registro de mantenimientos .....	5-165
5.13.5	Lavado de las redes de distribución .....	5-165
5.13.6	Reglas de operación durante mantenimientos para evitar desprendimientos de biopelículas.....	5-166
5.13.7	Uso de los programas de simulación hidráulica de la red de distribución.....	5-166
5.13.8	Uso de tecnologías de información para labores de mantenimiento .....	5-166
5.13.9	Aspectos ambientales en la etapa de Operación y Mantenimiento.....	5-166
<b>Capítulo 6 ESTACIONES DE BOMBEO.....</b>		<b>6-167</b>
6.1	ALCANCE.....	6-167
6.2	ESTUDIOS PREVIOS .....	6-167
6.2.1	Concepción del proyecto .....	6-167
6.2.2	Infraestructura existente .....	6-168
6.2.3	Estudio de la demanda de agua .....	6-168
6.2.4	Aspectos generales de la zona.....	6-168
6.2.5	Estudios topográficos.....	6-168
6.2.6	Condiciones geológicas .....	6-169
6.2.7	Disponibilidad de energía .....	6-169
6.2.8	Calidad del agua a ser bombeada.....	6-169
6.2.9	Estudio de suelos.....	6-170
6.2.10	Aspectos ambientales en la etapa de Planeación y Diseño .....	6-170
6.3	CONDICIONES GENERALES .....	6-170
6.3.1	Recomendaciones de seguridad y protección.....	6-170
6.3.2	Vulnerabilidad y amenaza sísmica .....	6-171
6.3.3	Facilidad de acceso y retiros .....	6-171
6.4	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	6-171
6.4.1	Período de diseño.....	6-171
6.4.2	Caudal de diseño .....	6-171
6.4.3	Tiempo de bombeo .....	6-172
6.4.4	Calidad de agua.....	6-172
6.4.5	Materiales.....	6-172
6.4.6	Número de Bombas .....	6-172
6.4.7	Tipo de Bombas.....	6-172
6.4.8	Pozo de succión.....	6-173
6.4.9	Diámetros de tuberías de impulsión y succión .....	6-174
6.4.10	Velocidades en tuberías de impulsión y succión.....	6-174
6.4.11	Instalación de tuberías.....	6-174
6.4.12	Distancias a otras redes .....	6-174
6.4.13	Sala de bombas .....	6-174
6.4.14	Generación y control de ruido.....	6-174
6.4.15	Generación de alternativas.....	6-175
6.5	DISEÑO DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO.....	6-175
6.5.1	Bombas.....	6-175

6.5.2	Ecuación del sistema .....	6-176
6.5.3	Diámetros de las tuberías de impulsión y succión.....	6-177
6.5.4	Corrosión en tuberías .....	6-177
6.5.5	Recubrimientos y protección de tuberías .....	6-177
6.5.6	Golpe de Ariete en estaciones de bombeo.....	6-177
6.5.7	Eficiencia del bombeo .....	6-178
6.5.8	Válvulas y accesorios en las estaciones de bombeo .....	6-178
6.5.9	Instalaciones eléctricas en las estaciones de bombeo.....	6-179
6.5.10	Dispositivos de medición y control.....	6-181
6.5.11	Instalaciones complementarias para las estaciones de bombeo .....	6-182
6.5.12	Comprobación de diseño bajo diferentes condiciones de operación .....	6-183
6.5.13	Protocolos de prueba del diseño .....	6-183
6.5.14	Uso de tecnologías de información para el diseño de estaciones de bombeo .....	6-184
6.5.15	Referenciación de las estaciones de bombeo .....	6-184
6.6	ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO RELACIONADOS CON EL DISEÑO .....	6-185
6.6.1	Inspecciones preliminares .....	6-185
6.6.2	Pruebas preliminares .....	6-185
6.6.3	Pruebas hidrostáticas para tuberías de impulsión.....	6-186
6.6.4	Medición de caudales .....	6-186
6.6.5	Línea piezométrica de la tubería de impulsión .....	6-186
6.6.6	Golpe de Ariete .....	6-186
6.6.7	Accesorios y Válvulas .....	6-186
6.6.8	Ventosas .....	6-187
6.6.9	Válvulas de cheque o de retención.....	6-187
6.7	ASPECTOS DE LA OPERACIÓN RELACIONADOS CON EL DISEÑO .....	6-187
6.7.1	Mediciones de caudal .....	6-187
6.7.2	Golpe de Ariete .....	6-188
6.7.3	Línea Piezométrica .....	6-188
6.7.4	Instrumentación y telemetría en las tuberías de impulsión .....	6-188
6.7.5	Punto de operación de la bomba.....	6-188
6.7.6	Uso de tecnologías de información para la operación .....	6-188
6.8	ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO RELACIONADOS CON EL DISEÑO.....	6-188
6.8.1	Aspectos Generales.....	6-189
6.8.2	Mantenimiento correctivo y preventivo .....	6-189
6.8.3	Suspensión del servicio por mantenimiento programado.....	6-189
6.8.4	Registro de mantenimientos .....	6-189
6.8.5	Disponibilidad de repuestos.....	6-190
6.8.6	Mantenimiento de accesorios .....	6-190
6.8.7	Uso de tecnologías de información para labores de mantenimiento .....	6-190
6.8.8	Aspectos ambientales en la etapa de Operación y Mantenimiento.....	6-190
<b>Capítulo 7 TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y COMPENSACIÓN.....</b>		<b>7-191</b>
7.1	ALCANCE.....	7-191
7.2	ESTUDIOS PREVIOS .....	7-191
7.2.1	Concepción del proyecto .....	7-191
7.2.2	Infraestructura existente .....	7-192
7.2.3	Estudio de la demanda de agua .....	7-192
7.2.4	Curvas de demanda horaria .....	7-192
7.2.5	Aspectos generales de la zona.....	7-193
7.2.6	Estudios topográficos.....	7-193
7.2.7	Condiciones geológicas .....	7-193
7.2.8	Estudio de suelos.....	7-193
7.2.9	Generación de alternativas .....	7-193
7.2.10	Otros estudios previos .....	7-194
7.3	CONDICIONES GENERALES .....	7-195
7.3.1	Localización de los tanques.....	7-195

7.3.2	Delimitación de las zonas de presión de la red de distribución.....	7-195
7.3.3	Vulnerabilidad y amenaza sísmica .....	7-195
7.3.4	Restricción de acceso .....	7-196
7.3.5	Anchos de servidumbres .....	7-196
7.3.6	Tamaño del lote y paisajismo .....	7-196
7.4	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	7-196
7.4.1	Período de diseño .....	7-196
7.4.2	Caudal de diseño para las tuberías de entrada y salida del tanque.....	7-196
7.4.3	Número de tanques .....	7-196
7.4.4	Capacidad de regulación .....	7-197
7.4.5	Calidad del agua a la salida de los tanques de almacenamiento y/o compensación .....	7-197
7.4.6	Capacidad de demanda contra incendio .....	7-197
7.4.7	Volumen del tanque .....	7-197
7.4.8	Materiales.....	7-198
7.4.9	Recubrimiento interno .....	7-198
7.4.10	Distancia a otras redes .....	7-199
7.4.11	Presión en la tubería de alimentación al tanque.....	7-199
7.4.12	Tiempo de llenado del tanque.....	7-199
7.4.13	Niveles .....	7-199
7.4.14	Tiempo de vaciado y caudal de vaciado.....	7-199
7.4.15	Profundidad del fondo del tanque .....	7-200
7.4.16	Sismorresistencia.....	7-200
7.4.17	Comprobación de diseño bajo diferentes condiciones de operación .....	7-200
7.4.18	Protocolo de pruebas dado por el diseñador .....	7-201
7.5	DISPOSITIVOS ANEXOS .....	7-201
7.5.1	Forma del tanque .....	7-201
7.5.2	Entrada de agua al tanque.....	7-202
7.5.3	Salida de agua del tanque .....	7-202
7.5.4	Rebose .....	7-203
7.5.5	Control de nivel en los tanques.....	7-203
7.5.6	Desagüe.....	7-203
7.5.7	Válvulas.....	7-203
7.5.8	Medición de caudal .....	7-204
7.5.9	Sistema de drenaje .....	7-204
7.6	OBRAS COMPLEMENTARIAS.....	7-204
7.6.1	Impermeabilización de los tanques .....	7-204
7.6.2	Ventilación de los tanques .....	7-204
7.6.3	Cubierta de los tanques .....	7-205
7.6.4	Acceso al interior del tanque.....	7-205
7.6.5	Iluminación .....	7-205
7.6.6	Señalización de tanques.....	7-205
7.6.7	Sistemas telemétricos .....	7-205
7.6.8	Escaleras .....	7-206
7.6.9	Cajas de Válvulas de entrada y de salida.....	7-206
7.6.10	Cerramiento .....	7-206
7.6.11	Vías de acceso y parqueaderos en los terrenos alrededor de los tanques .....	7-206
7.7	ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA DE LOS TANQUES.....	7-207
7.7.1	Inspecciones preliminares a los tanques .....	7-207
7.7.2	Pruebas de estanqueidad .....	7-207
7.7.3	Pruebas hidráulicas del tanque.....	7-207
7.7.4	Pruebas de calidad del agua .....	7-207
7.7.5	Pruebas hidráulicas en la red .....	7-208
7.8	ASPECTOS DE LA OPERACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO RELACIONADOS CON EL DISEÑO .....	7-208
7.8.1	Verificación de presiones .....	7-208
7.8.2	Control de filtraciones .....	7-208

7.8.3	Entrada de agua al tanque.....	7-208
7.8.4	Calidad de agua en el tanque .....	7-208
7.8.5	Uso de tecnologías de información .....	7-208
7.8.6	Aspectos ambientales en la etapa de Operación y Mantenimiento.....	7-209
7.9	<b>ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO DE TANQUES RELACIONADOS CON EL DISEÑO .....</b>	<b>7-209</b>
7.9.1	Mantenimiento correctivo y preventivo .....	7-209
7.9.2	Limpieza y desinfección de tanques .....	7-209
7.9.3	Impermeabilización de los tanques .....	7-210
7.9.4	Mantenimiento de accesorios .....	7-210
7.9.5	Uso de tecnologías de información para las labores de mantenimiento .....	7-210
	<b>Capítulo 8 ASPECTOS AMBIENTALES.....</b>	<b>8-211</b>
8.1	Alcance .....	8-211
8.2	Identificación de actividades que pueden generar impactos ambientales.....	8-211
8.3	Caracterización del ambiente .....	8-211
8.4	Identificación y valoración de aspectos e impactos ambientales que se generarán .....	8-211
8.5	Definición de medidas de manejo .....	8-212
8.6	Cumplimiento de la normatividad ambiental vigente.....	8-212
8.7	Instrumentos legales de control territorial y ambiental.....	8-213
8.7.1	Plan de Ordenamiento Territorial.....	8-213
8.7.2	Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV. ....	8-213
8.7.3	Instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos.....	8-213
8.7.4	Planes de ordenamiento del recurso hídrico –PORH- .....	8-214
8.7.5	Zonas de interés arqueológico .....	8-214
	<b>Capítulo 9 INTERVENTORÍA.....</b>	<b>9-219</b>
9.1	ALCANCE .....	9-219
9.2	PERSONAL DE LA INTERVENTORÍA .....	9-219
9.3	INTERVENTORÍA DE DISEÑO.....	9-219
9.3.1	Funciones principales de la Interventoría de Diseño.....	9-219
9.3.2	Verificación de protocolos de pruebas.....	9-220
	<b>TEMAS TRANSITORIOS ACUEDUCTO .....</b>	<b>9-221</b>

## PREFACIO

El propósito de la presente norma de diseño de los sistemas de agua potable de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P (EPM) es fijar los criterios básicos, los requisitos mínimos, los valores específicos y límites, las metodologías y las tecnologías que deben tenerse en cuenta en los diferentes procesos involucrados en la conceptualización y el diseño de sistemas de acueducto. Estos sistemas incluyen las conducciones de agua tratada desde las plantas de tratamiento hasta los tanques de almacenamiento y compensación, las redes de distribución de agua potable con todos sus componentes y accesorios, las estaciones de bombeo y sus bombas, los tanques de almacenamiento y compensación. Esto se hace con el fin de garantizar la seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad técnica, eficiencia de operación, sostenibilidad de los sistemas de acueducto y redundancia de éstos. El diseño debe hacer referencia a las Normas y Especificaciones Generales de Construcción de EPM, para los elementos y procesos que apliquen. El contenido específico de esta norma está basado en sus aspectos generales en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS, en su última versión y las propuestas de actualizaciones, específicamente en sus títulos A “Aspectos Generales de los Sistemas de Agua Potable y Saneamiento Básico”, y B “Sistemas de Acueducto”. El reglamento es una referencia complementaria a las normas de EPM planteadas en este documento.

La norma está dirigida primordialmente a los planificadores y los diseñadores de los sistemas de acueducto, ya sean contratistas, empleados de EPM, así como a los ingenieros diseñadores de los Urbanizadores y/o Constructores y los interventores de diseño de dichos sistemas. Adicionalmente, puede ser utilizada por, los operadores y los ingenieros de mantenimiento encargados del abastecimiento de agua potable en los municipios operados por EPM. En general, esta norma es de obligatorio cumplimiento en todo su contenido y hace referencia de manera complementaria a las Normas y Especificaciones Generales de Construcción de EPM, así como a los trámites que deben realizarse ante diferentes dependencias locales y nacionales que deben ser considerados desde la etapa de diseño de un sistema de acueducto y de cualquiera de sus componentes, como también, hace referencia a algunos los Decretos, Reglamentos y Manuales, en sus versiones vigentes, pudiendo existir muchos más que tengan una injerencia directa con los proyectos y que deben ser tenidos en cuenta en los diseños.

## PARTICIPANTES

Para la redacción de las nuevas Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto las Empresas Públicas de Medellín E.S.P. y la Universidad de los Andes, a través del Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA – del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, conformaron el siguiente equipo de trabajo:

1- Por parte de EPM, como propietarias e interventoras del proyecto, así:

### **Interventor del proyecto**

José Alberto Alzate Hoyos

### **Interventor técnico del Área de Acueductos**

Juan Carlos Herrera Arciniegas.

### **Colaboradores capítulo de Conducciones:**

Gustavo F. Correa U

Luis Alberto Fernández P.

Mauricio Ángel M.

Mario Peláez V.

Carlos Mario Ramírez C.

Santiago Ochoa P.

Paola Andrea Gómez

### **Colaboradores capítulo de Estaciones de Bombeo:**

Guillermo Eusse

Mario Peláez V.

Juan Camilo Torres

### **Colaboradores capítulo de Redes de Distribución:**

Santiago Wilches Y.

Omar Darío Longas S.

Claudia P. Palacio

Gloria P. Ramírez C.

Martha O. Zuluaga A.

Beatriz E. Jaramillo V.

Paola Andrea Gómez

Claudia Marcela Escudero

Maria Patricia Salazar

### **Colaboradores capítulo de Tanques de Almacenamiento y/o Compensación:**

Gustavo F. Correa U.

Luis Alberto Fernández P.

Mauricio Ángel M.

Mario Peláez V.

Carlos Mario Ramírez C.

Santiago Ochoa P.

2- Por parte de 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 consultor del proyecto, así:

### **Como Autores:**

#### **Director del Proyecto**

Juan G. Saldarriaga

#### **Investigador**

Manuel Antonio Serna Rodríguez

#### **Ingeniera Área de Acueducto María**

Fernanda González Candia

### **Como Colaboradores:**

Mireya Perafán

Marta Rocío Acosta

Ximena Gutiérrez Hinojosa

Johanna Garzón Mazuera

María del Pilar Ochoa

Carolina Quiros Garzón

## Capítulo 1 REFERENCIACIÓN GENERAL

### 1.1 SISTEMA DE UNIDADES

<b>Aceleración</b> <b>m/s<sup>2</sup></b> Metros por segundo cuadrado	<b>Ángulo Plano</b> o grados	<b>Área</b> <b>cm<sup>2</sup></b> centímetro cuadrado <b>ha</b> Hectárea <b>km<sup>2</sup></b> Kilómetro cuadrado <b>m<sup>2</sup></b> metro cuadrado	<b>Caudal</b> <b>l/h</b> Litro por hora <b>l/s</b> Litro por segundo <b>m<sup>3</sup>/s</b> metros cúbicos por segundo
<b>Concentración</b> <b>mg/l</b> miligramo por Litro <b>ppm</b> partes por millón	<b>Densidad</b> <b>kg/m<sup>3</sup></b> kilogramo por metro cúbico	<b>Esfuerzo</b> <b>kPa</b> Kilopascal <b>GPa</b> Gigapascal <b>MPa</b> Megapascal <b>Pa</b> Pascal	<b>Fuerza</b> <b>N</b> Newton <b>kN</b> Kilonewton <b>T</b> Tonelada
<b>Longitud</b> <b>m</b> metro <b>km</b> Kilómetro <b>cm</b> centímetro <b>mm</b> milímetro	<b>Masa</b> <b>g</b> gramo <b>mg</b> miligramo <b>kg</b> Kilogramo <b>t</b> tonelada	<b>Población</b> <b>hab</b> habitante <b>cliente</b> cliente	<b>Potencia</b> <b>kW</b> Kilovatio <b>W</b> vatio
<b>Potencial eléctrico</b> <b>kV</b> Kilovoltio	<b>Presión</b> <b>kPa</b> Kilopascal <b>MPa</b> Megapascal <b>Pa</b> Pascal <b>m.c.a</b> Metros de cabeza de agua	<b>Temperatura</b> <b>°C</b> grados Centígrados <b>K</b> Kelvin	<b>Tiempo</b> <b>año</b> año <b>día</b> día <b>h</b> hora <b>min</b> minuto <b>s</b> segundo
<b>Velocidad</b> <b>m/s</b> metros por segundo	<b>Viscosidad</b> <b>Pa·s</b> Pascales por segundo	<b>Volumen</b> <b>cm<sup>3</sup></b> centímetro cúbico <b>L</b> litro <b>m<sup>3</sup></b> metro cúbico	<b>Otras</b> <b>l/(hab·día)</b> Litro por habitante por día <b>m<sup>2</sup>/m</b> metro cuadrado por metro <b>dB</b> decibel

## 1.2 VARIABLES

$\%p$	= porcentaje de pérdidas (entre 0 y 1)	-
$a$	= área del desagüe	$m^2$
$a$	= celeridad de la onda de presión	m/s
$a$	= constante que depende del tipo de superficie	-
$a$	= constante que depende del tipo de sistema	-
$A$	= área superficial del tanque	$m^2$
$A_i$	= área de influencia o área abastecida por el nudo i	ha
$A$	= Coeficiente de la ecuación de una bomba	-
$B$	= Ancho de canal	m
$B$	= Coeficiente de la ecuación de la bomba	-
$b$	= Factor de economía de escala	-
$c$	= concentración de cloro	mg/L
$C_{ij}$	= concentración de cloro que entra del nudo i al nudo j	mg/L
$c_j$	= concentración en un caudal de salida	mg/L
$c_k$	= concentración en un caudal de entrada	mg/L
$C_s$	= concentración final de cloro en el agua que sale del nudo j	mg/L
$c_w$	= concentración de cloro en la pared de la tubería	-
$C$	= coeficiente de la ecuación de la bomba	-
$C$	= coeficiente de Hazen Williams	-
$d$	= longitud saliente de la tubería en una junta	m
$D$	= densidad de población	hab/ha
$D$	= diámetro interno real de la tubería	m
$d_{bruta}$	= dotación bruta	L/hab·día
$d_c/d_t$	= tasa de cambio de la concentración de cloro en el tiempo	mg/Ls
$De$	= diámetro interior	m
$d_{neta}$	= dotación neta	L/hab.día
$e_p$	= espesor de la tubería	m
$E$	= módulo de elasticidad de un material	Pa
$E$	= escape permitido	L/h
$E_p$	= módulo de compresibilidad del líquido	GPa
$f$	= coeficiente de fricción de Darcy	-
$Fr$	= número de Froude	-
$g$	= aceleración de la gravedad 9.81	$m/s^2$
$g$	= tasa exponencial anual de crecimiento de la demanda	-
$H$	= altura dinámica total	m
$H_1$	= máxima altura o cabeza disponible	m
$\Delta H$	= pérdida total de altura o cabeza	m
$H_m$	= cabeza de pérdidas menores	m
$h$	= cabeza sobre el desagüe	m
$H_c$	= energía específica para la condición de flujo crítico	m
$H_e$	= incremento de altura debido a las pérdidas de energía	m
$H_{es}$	= altura estática de succión	m
$H_T$	= diferencia topográfica máxima	m
$h_f$	= pérdida de altura debida a la fricción	m
$K$	= capacidad del sistema	-
$K$	= coeficiente que varía entre 1.2 y 1.6	-
$k_1$	= coeficiente de consumo máximo diario	-
$k_2$	= coeficiente de consumo máximo horario	-
$K_b$	= constante de reacción de primer orden en el agua	-

$K_f$ = coeficiente de transferencia entre el agua y la pared de la tubería	-
$K_m$ = coeficiente de pérdida menor	-
$k_s$ = rugosidad absoluta de la tubería	m
L = longitud total de la tubería	m
$l_j$ = distancia entre juntas	m
m = coeficiente de contracción del desagüe	
N = número de uniones en el sector probado, sin incluir uniones soldadas	-
NPSH = altura neta de succión positiva	m
$p$ = número de clientes proyectados	clientes
$p$ = número de habitantes proyectados	hab
P = presión de ensayo hidráulico	Pa
P = potencia requerida por la bomba	W
$p_{\text{diseño}}$ = Presión de diseño	m.c.a
$p_{\text{estática}}$ = Presión estática	m.c.a
$p_{\text{máx}}$ = Presión mayor entre la presión máxima y la presión máxima transiente	m.c.a
$p_{\text{transiente}}$ = Presión causada por fenómenos transientes	m.c.a
$P_{\text{atm}}$ = presión atmosférica	Pa
$P_v$ = presión de vapor del agua	Pa
$P_{\text{programada}}$ = 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.
$P_{\text{deseadap.critico}}$ = presión mínima en el punto crítico de la red, aguas abajo de la VRP	m.c.a.
Q = caudal	m <sup>3</sup> /s
$q_e$ = caudal de entrada	L/s
$Q_e$ = caudal específico por unidad de superficie	L/s
$Q_i$ = caudal de consumo en el nudo i	m <sup>3</sup> /seg
$Q_{ij}$ = caudal que fluye del nudo i al nudo j	m <sup>3</sup> /s
$Q_{in}$ = caudal de incendio	m <sup>3</sup> /s
QMD = caudal máximo diario	L/s
$Q_{md}$ = caudal medio diario	L/s
QMH = caudal máximo horario	L/s
$q_s$ = caudales de salida	m <sup>3</sup> /s
R = radio hidráulico	m
r = tasa anual social de descuento.	-
Re = número de Reynolds	-
$S_F$ = pendiente de la línea de energía total	-
$S_o$ = pendiente del fondo del canal	-
t = período óptimo de expansión del sistema.	años
t = tiempo	s
T = tiempo de vaciado en segundos	s
t = Es el número de horas de bombeo por día	h/día
$t_0$ = período de retraso inicial con déficit de capacidad	años
$t_i$ = período óptimo de expansión en el tiempo i	años
v = velocidad media del flujo	m/s
V = volumen de agua en el tanque (tanques)	m <sup>3</sup>
V = Volumen de agua para protección contra incendio	m <sup>3</sup>
x = abscisa o distancia horizontal	m
y = profundidad del flujo	m
$y_c$ = profundidad crítica	m
$y_1$ = profundidad en el impacto de la lámina vertiente.	m

$\Delta Z$	= altura de la caída en estructuras de disipación de energía	m
$\gamma$	= peso específico del agua	kN/m <sup>3</sup>
$\eta$	= eficiencia de la bomba y el motor	-
$\mu$	= viscosidad absoluta del agua	Pa·s
$\mu_p$	= relación de Poisson de un material	-
$\rho$	= densidad del agua	kg/m <sup>3</sup>
$\tau$	= período del golpe de ariete	s

### 1.3 ABREVIATURAS

<b>ANSI</b>	American National Standards Institute
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>AWWA</b>	American Water Works Association Standard
<b>SCS</b>	Soil Conservation Service
<b>EEPP</b>	Empresas Públicas de Medellín E.S.P.
<b>MAVDT</b>	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
<b>MSP</b>	Ministerio de Salud Pública
<b>DNP</b>	Departamento Nacional de Planeación
<b>CRA</b>	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
<b>SSPD</b>	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
<b>DANE</b>	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
<b>ICONTEC</b>	Instituto Colombiano de Normas Técnicas
<b>DAMA</b>	Departamento Administrativo del Medio Ambiente
<b>IDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<b>IGAC</b>	Instituto Geográfico Agustín Codazzi

### 1.4 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS

#### 1.4.1 Normas técnicas colombianas

NTC 10	Clasificación de Tubos de Acero
NTC 105	Tubos de Acero Tipo "EMT", Recubiertos de Zinc para la Conducción y Protección de Conductores Eléctricos -Tubería Conduit-
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 11	Tubos de Acero al Carbono Aleado Ferrítico y Austenítico con y sin Costura.
NTC 1125	Determinación de la Resistencia al Impacto en Tubos y Accesorios Termoplásticos.
NTC 1260	Plásticos. Tubos de Policloruro de Vinilo - PVC - Rígido para Ventilación y Aguas Lluvias.
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 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).
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 1931	Seguridad Contra Incendios. Señales.
NTC 1991	Flotadores para Accionamiento de Válvulas.
NTC 2011	Válvulas de Acondicionamiento por Flotador.
NTC 2050	Código Eléctrico Colombiano.
NTC 2193	Válvulas de Mariposa con Asiento Elástico
NTC 2295	Uniones con Sellos Elastoméricos Flexibles para Tubos Plásticos Empleados Para el Transporte de Agua a Presión.
NTC 2346	Accesorios 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 277	Motores y Generadores Eléctricos.
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.
NTC 3409	Plásticos. Accesorios de Polietileno (PE) para Unión por Fusión a Tope con Tubería de Polietileno (PE).
NTC 3410	Plásticos. Accesorios de Polietileno Tipo Campana para Tubos de Polietileno, Tipo IPS y CTS, con Diámetro Exterior Controlado.
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 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 369	Plásticos. Compuestos Rígidos de Poli - Cloruro de Vinilo - Rígidos y Compuestos Clorados de Poli - Cloruro de Vinilo - CPVC -.
NTC 3694	Plásticos. Tubos Tipo CTS de Polietileno (PE).
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 382	Plásticos. Tubos de Poli-Cloruro de Vinilo- -PVC- Clasificados Según la Presión -Serie RDE-.
NTC 3871	Tubos de Fibra de Vidrio para Usos en Sistemas a Presión.
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 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 4777	Recubrimientos Protectores Epóxicos Interiores para Válvulas e Hidrantes.
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 539 Aptitud de Tubos y Accesorios Plásticos para Uso en Contacto con Agua Destinada al Consumo Humano. Requisitos de Atoxicidad.
- NTC 664 Determinación del Contenido de Negro de Humo.
- NTC 718 Acondicionamiento de Plásticos para Ensayo
- NTC 747 Tubos de Presión Tipo Cilindro de Acero con Recubrimiento de Hormigón, Mortero o Ambos
- NTC 872 Materiales para Moldeo y Extrusión de Plásticos de Polietileno.

## 1.4.2 Normas técnicas internacionales

### 1.4.2.1 Normas técnicas AWWA

- AWWA C 104 Cement Mortar Lining for Ductile Iron Pipe and Fittings for Water
- AWWA C 105 Polyethylene Encasement for Ductile Iron Pipe Systems
- AWWA C 110 Ductile Iron and Grey Iron Fittings
- AWWA C 111 Rubber Gasket Joints for Ductile Iron Pressure Pipe & Fittings.
- AWWA C 115 Flanged Ductile Iron Pipe with Ductile Iron or Gray Iron Threaded Flanges.
- AWWA C 116 Protective Fusion-Bonded Epoxy Coatings for the Interior and Exterior Surfaces of Ductile-Iron and Gray-Iron Fittings for Water Supply Service
- AWWA C 153 Ductile Iron Compact Fitting 3in thru 24in for Water Service.
- AWWA C 200 Steel Water Pipe 6in and Larger.
- AWWA C205 Recubrimiento interno en mortero de cemento para tubería de acero.
- AWWA C 206 Field Welding of Steel Water Pipe.
- AWWA C 207 Steel Pipe Flanges for Waterworks Service.
- AWWA C 208 Dimensions for Fabricated Steel Water Pipe Fittings.
- AWWA C 219 Bolted, Sleeve Type Couplings for Plain End Pipe.
- AWWA C 220 Stainless Steel Pipe.
- AWWA C 300 Reinforced Concrete Pressure Pipe, Steel Cylinder Type for Water and Other Liquids.
- AWWA C 301 Prestressed Concrete Pressure Pipe Steel Cylinder Type for Water and Other Liquids.
- AWWA C 302 Reinforced Concrete Pressure Pipe, Noncylinder Type.
- AWWA C 303 Concrete Pressure Pipe, Bar Wrapped Steel Cylinder Type.
- AWWA C 304 Design Prestressed Concrete Cylinder Pipe.
- AWWA C 500 Gate Seated Gate Valves for Water Supply Service.
- AWWA C 502 Dry Barrel Fire Hydrants.
- AWWA C 504 Rubber Seated Butterfly Valves.
- AWWA C 507 Ball Valves, 6 In. Through 48 In. (150 mm Through 1,200 mm)
- AWWA C 508 Swing Check Valves for Water Works Service.
- AWWA C 510 Double Check Valve Backflow Prevention Assembly.
- AWWA C 512 Air Release, Air Vacuum & Combination Air Valves for Waterworks Service.
- AWWA C 550 Protective Epoxy Interior Coatings for Valves & Hydrants.
- AWWA C 600 Installation of Ductile Iron Water Mains & Their Appurtenances.
- AWWA C 606 Grooved and Shouldered Joints.
- AWWA C 651 Disinfecting Water Mains.
- AWWA C 700 Cold Water Meters-displacement Type Bronze Main Case.
- AWWA C 701 Cold Water Meters- Turbine Type, for Customer Service.
- AWWA C 702 Cold Water Meters Compound Type.
- AWWA C 703 Cold Water Meters Fire Service Type.
- AWWA C 704 Propeller Type Meters for Waterworks Applications.
- AWWA C 707 Encoder Type Remote Registration Systems for Cold Water Meters.

AWWA C 708 Cold Water Meters Multi Jet Type.  
AWWA C 710 Cold Water Meters Displacement Type, Plastic Main Case.  
AWWA C 900 PVC Pressure Pipe 4in thru 12 in for Water Distribution.  
AWWA C 901 Polyethylene (Pe) Pressure Pipe & Tubing 1/2in thru 3in for Water Service.  
AWWA C 905 Polyvinyl Chloride (PVC) Water Transmission Pipe, Nominal Diameters 14 In. Through 36 In.  
AWWA C 906 Polyethylene Pressure Pipe and Fittings 4in thru 63in for Water Distribution.  
AWWA C 907 Polyvinyl Chloride Pressure Fittings for Water Pvc Self Tapping Saddle.  
AWWA C 950 Fiberglass Pressure Pipe.  
AWWA D 100 Welded Steel Tanks for Water Storage.  
AWWA D 102 Coating Steel Water Tanks.  
AWWA D 103 Factory-Coated Bolted Steel Tanks for Water Storage  
AWWA D 104 Automatically Controlled, Impressed-Current Cathodic Protection for the Interior of Steel Water Tanks  
AWWA D 110 Wire & Strand Wound, Circular, Prestressed Concrete Water Tanks.  
AWWA D 120 Thermosetting Fiberglass-reinforced Plastic Tanks.  
AWWA D 130 Flexible Membrane Lining and Floating Cover Materials for Potable Water Storage  
AWWA E 101 Vertical Turbine Pumps-line Shaft and Submersible Types.  
AWWA M27 External corrosion-introduction to chemistry and control  
AWWA M41 Ductile-Iron Pipe Fittings  
AWWA M45 Fiber Glass Pressure Pipe – A Guide for Design and instalation.

#### 1.4.2.2 Normas Técnicas ASTM

ASTM A 126 Standard Specification for Gray Iron Castings for Valves, Flanges, and Pipe Fittings  
ASTM A 370 Mechanical Testing of Steel Products.  
ASTM A 589 Seamless and Welded Carbon Steel Water-Well Pipe.  
ASTM A 751 Chemical Analysis of Steel Products.  
ASTM A 865 Threaded Couplings, Steel, Black or Zinc-Coated (Galvanized) Welded or Seamless, for Use in Steel Pipe Joints.  
ASTM A 961 Standard Specification for Common Requirements for Steel Flanges, Forged Fittings, Valves, and Parts for Piping Applications  
ASTM B 62 Standard Specification for Composition Bronze or Ounce Metal Castings  
ASTM C 822 Concrete Pipe and Related Products.  
ASTM D 1238 Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer.  
ASTM D 1505 Standard Test Method for Density of Plastics by the Density-Gradient Technique  
ASTM D 1598 Standard Test Method for Time-to-Failure of Plastic Pipe Under Constant Internal Pressure  
ASTM D 1599 Standard Test Method for Resistance to Short-Time Hydraulic Failure Pressure of Plastic Pipe, Tubing, and Fittings  
ASTM D 1603 Standard Test Method for Carbon Black In Olefin Plastics  
ASTM D 1784 Rigid Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Compounds and Chlorinated Poly (Vinyl Chloride) (CPVC) Compounds.  
ASTM D 2000 Standard Classification System for Rubber Products in Automotive Applications  
ASTM D 2122 Determining Dimensions of Thermoplastic Pipe and Fittings.  
ASTM D 2152 Standard Test Method for Adequacy of Fusion of Extruded Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Pipe and Molded Fittings by Acetone Immersion  
ASTM D 2239 Polyethylene (PE) Plastic Pipe (SIDR-PR) Based on Controlled Inside Diameter.  
ASTM D 2241 Specification for Poly (vinil chloride) (PVC) pressure - Rated Pipe. (SDR Series)  
ASTM D 2290 Standard Test Method for Apparent Hoop Tensile Strength of Plastic or Reinforced Plastic Pipe by Split Disk Method

- ASTM D 2310 Machine-Made "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe
- ASTM D 2412 Standard Test Method for Determination of External Loading Characteristics of Plastic Pipe by Parallel-Plate Loading
- ASTM D 2444 Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a Tup (Falling Weight).
- ASTM D 2466 Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Pipe Fittings, Schedule 40.
- ASTM D 2584 Standard Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins
- ASTM D 2609 Standard Specification for Plastic Insert Fittings for Polyethylene (PE) Plastic Pipe.
- ASTM D 2683 Standard Specification for Socket-Type Polyethylene Fittings for Outside Diameter-Controlled Polyethylene Pipe and Tubing
- ASTM D 2737 Standard Specification for Polyethylene (PE) Plastic Tubing.
- ASTM D 2837 Standard Test Method for Obtaining Hydrostatic Design Basis for Thermoplastic Pipe Materials or Pressure Design Basis for Thermoplastic Pipe Products
- ASTM D 2839 Standard Practice for Use of a Melt Index Strand for Determining Density of Polyethylene
- ASTM D 2855 Standard Practice for Making Solvent-Cemented Joints with Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Pipe and Fittings
- ASTM D 2992 Obtaining Hydrostatic or Pressure Design Basis for "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe and Fittings.
- ASTM D 2996 Filament-Wound "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe.
- ASTM D 2997 Centrifugally Cast "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe.
- ASTM D 3035 Standard Specification for Polyethylene (PE) Plastic Pipe (DR-PR) Based on Controlled Outside Diameter.
- ASTM D 3139 Joints for Plastic Pressure Pipes Using Flexible Elastomeric Seals.
- ASTM D 3261 Standard Specification for Butt Heat Fusion Polyethylene (PE) Plastic Fittings for Polyethylene (PE) Plastic Pipe and Tubing
- ASTM D 3350 Polyethylene Plastics Pipe and Fittings Materials.
- ASTM D 3517 Fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pressure Pipe
- ASTM D 3567 Determining Dimensions of "Fiberglass" Glass - Fiber - Reinforced Thermo-setting Resin) Pipe and Fittings.
- ASTM D 4161 "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe Joints Using Flexible Elastomeric Seals.
- ASTM D 4218 Standard Test Method for Determination of Carbon Black Content in Polyethylene Compounds By the Muffle-Furnace Technique
- ASTM D 618 Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing
- ASTM D 638 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics
- ASTM D 695 Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics
- ASTM F 147 Standard Test Method for Flexibility of Non-Metallic Gasket Materials
- ASTM F 477 Standard Specification for Elastomeric Seals (Gaskets) for Joining Plastic Pipe
- ASTM F 682 Standard Specification for Wrought Carbon Steel Sleeve-Type Pipe Couplings

#### 1.4.2.3 Normas Técnicas ISO

- ISO 1172 Textile-Glass-Reinforced Plastics. Prepregs, Moulding Compounds and Laminates. Determination of the Textile-Glass and Mineral-Filler Content -- Calcination Methods
- ISO 2230 Elastómeros Vulcanizados - Condiciones de Almacenamiento.
- ISO 2531 Tubos y Accesorios de Fundición Dúctil para Canalizaciones a Presión.
- ISO 2548 Centrifugal, Mixed Flow and Axial Pumps
- ISO 4064 Measurement of Water Flow in Fully Charged Closed Conduits - Meters for Cold Potable Water and Hot Water.

- ISO 4179 Ductile Iron Pipes for Pressure and Non-Pressure Pipelines -- Centrifugal Cement Mortar Lining -- General Requirements
- ISO 4633 Juntas de Estanqueidad de Caucho - Guarniciones de Juntas de Canalizaciones de Alimentación y Evacuación de Aguas (Alcantarillados Incluidos - Especificación de Materiales)
- ISO 8179 Ductile iron Pipes -- External Zinc Coating -- Part 1: Metallic Zinc with Finishing Layer. Part 2 : Zinc Rich Paint With Finishing Layer
- ISO DIS 16422 Tubos y Uniones Fabricados de Policloruro de Vinilo Orientado Molecularmente (PVC-O) para Transporte de Agua.

#### 1.4.2.4 Normas técnicas DIN

- DIN 16961 Thermoplastics Pipes and Fittings with Profiled Outer and Smooth Inner Surfaces. Part 1 : Dimensions. Part 2 : Technical delivery conditions.
- DIN 1994 4 Phosphorescent Pigments and Products: Photoluminescent Products for Safety Applications
- DIN 30675-2 External Corrosion Protection of Buried Pipes; Corrosion Protection Systems for Ductile Iron Pipes.

#### 1.4.2.5 Normas técnicas ANSI

- ANSI B 16.10 Face to Face / End to End Dimensions for Flanged Valves
- ANSI B 16.5 Bridas para tuberías y accesorios de acero y hierro dúctil  
Válvulas de compuerta
- ANSI B 16.34 Válvulas flujo anular, válvulas mariposa

#### 1.4.3 Otras normas y/o guías técnicas

- EN 13476 Sistemas de Canalización en Materiales Termoplásticos para Saneamiento Enterrado sin Presión.
- MMS SP 44 Steel Pipeline Flanges
- NFS 14 Plastic Piping System Components and Related Material

La Guía RAS 001 "Definición del Nivel de Complejidad y Evaluación de la Población, la Dotación y la Demanda de Agua".

#### 1.4.4 Normas y manuales de EPM

- 1- Alcance del trabajo y especificaciones para los levantamientos o localizaciones de trabajos de topografía en la investigación para diseño de redes de acueducto y/o alcantarillado, conducciones, impulsiones y obras civiles (plantas de tratamiento, tanques, estaciones de bombeo, edificaciones, etc.).
- 2- Estándar para la digitalización del dibujo de las redes de acueducto y alcantarillado en Autocad.
- 3- Estándar para la digitalización del dibujo de las redes de acueducto y alcantarillado en Microstation.

- 4- Manual para la referenciación de redes de acueducto y alcantarillado, versión vigente<sup>1</sup>.
- 5- Normas y Especificaciones Generales de Construcción en redes de servicios.

## 1.5 LEYES, DECRETOS Y LEGISLACIÓN PERTINENTE

### 1.5.1 Leyes y Decretos Nacionales

- Artículo 144 de la Ley 142 de 1994.
- Artículo 145 de la Ley 142 de 1994.

<sup>1</sup> [http://www.EPM.com/epmcom/contenido/proveedores/manuales/manual\\_aguas/index.htm](http://www.EPM.com/epmcom/contenido/proveedores/manuales/manual_aguas/index.htm)

- Artículo 17 del Decreto 302 de 2000, Resolución No. 138-00 de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA.
- Artículo 43 de la Ley 99 de 1993.
- Artículo 35, Decreto Nacional 1575 de 2007, de los Ministerios de Vivienda y Medio Ambiente y de Salud y Protección Social, por el cual se expiden las normas técnicas de calidad del agua potable.
- Decreto 302 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico y su Decreto Modificatorio 229 de 2000.
- Ley 09 de 1979, por la cual se expide el Código Sanitario
- Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente.
- Ley 142 de 1994, por la cual se establece la regulación de los Servicios Públicos Domiciliarios.
- Ley 373 de 1997, sobre ahorro y uso eficiente del agua.
- Ley 388 de 1997, sobre Planes de Ordenamiento Territorial.
- Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998. Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR-10.
- Ley 689 de 2001.
- Resolución 151 de 2001 de la Comisión de Regulación de Agua Potable.
- Resolución 8321 del 4 de Agosto de 1983, del Ministerio de Salud Pública.
- Resolución 1096 de Noviembre 17 de 2000, por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.

### 1.5.2 Decretos internos de EPM

Decreto 1348 de noviembre 5 de 2003  
Decreto 1360 de diciembre 10 de 2003

## 1.6 DEFINICIONES

**Abatimiento.** Diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico o de bombeo en el pozo de explotación de un acuífero.

**Accesorios.** Elementos constitutivos de un sistema de tuberías, diferentes de las tuberías en sí, tales como uniones, codos, tees etc.

**Acometida.** Derivación de la red de distribución que llega hasta el registro de corte de un usuario. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general. (Ley 142 de 1994)

**Acueducto.** Véase sistema de acueducto.

**Acuífero.** Formación geológica o grupo de formaciones que contiene agua y que permite su movimiento a través de sus poros bajo la acción de la aceleración de la gravedad o de diferencias de presión.

**Agua cruda.** Agua superficial o subterránea en estado natural; es decir, que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento.

**Agua de lavado.** Agua proveniente de las labores de lavado de la red de conducciones o distribución de agua potable.

**Agua potable.** Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua.

**Agua residual.** Desecho líquido proveniente de residencias, edificios, instituciones, fábricas o industrias.

**Agua tratada.** Ver Agua potable

**Aguas arriba.** En hidráulica, hace referencia a la zona anterior a un volumen de control, en la dirección del flujo

**Alcantarillado combinado.** Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte, tanto de las aguas residuales como de las aguas lluvias.

**Alcantarillado de aguas residuales.** Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de las aguas residuales domésticas y/o industriales.

**Alcantarillado de aguas lluvias.** Sistema compuesto por todas las instalaciones

destinadas a la recolección y transporte de aguas lluvias

**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 de consumo y la demanda contra incendios.

**Altimetría.** Es la parte de la topografía que estudia y determina las diferencias de nivel y las formas o 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 cabeza. Se obtiene a partir de la suma de la altura estática en la succión, de las pérdidas de energía por fricción, 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.** Altura a la que se elevaría el agua en un tubo piezométrico colocado en un punto de una conducción.

**Anclaje.** Apoyo que soporta los empujes ocasionados por el cambio de dirección en una tubería sometida a presión interna.

**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 Artículo 35, Decreto Nacional 1575 de 2007, de los Ministerios de Vivienda y Medio Ambiente y de Salud y Protección Social, por el cual se expiden las normas técnicas de calidad del agua potable, o el que lo sustituya, modifique o derogue.

**Base de datos.** Conjunto de información que se almacena bajo esquemas particulares para su posterior consulta y análisis.

**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 y 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.

**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 de almacenamiento.

**Brida.** Es un accesorio para juntar dos tubos por medio de flanches y pernos.

**Cabeza dinámica total.** Véase Altura dinámica total.

**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 que mejoren el modelo tanto como sea posible.

**Calidad de agua.** Nivel de potabilidad del agua determinado por una serie de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

**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 hidráulica.** Caudal máximo que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.

**Casco Urbano.** Se refiere a la zona urbana o metropolitana de un municipio o ciudad.

**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.

**Catastro de red.** Sistema de registro y archivo de información técnica estandarizada y relacionada con todos los detalles técnicos de ubicación de tuberías, válvulas, hidrantes y todo accesorio de la red.

**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 específico de distribución.** Caudal de distribución medio que se presenta o se estima en un área específica. Se define 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 de un líquido, su crecimiento y subsecuente colapsamiento a medida que éste fluye.

**Celeridad.** Velocidad relativa de la onda respecto al fluido.

**Circuito:** Unidad Hidráulica que cuenta con alimentación de manera exclusiva e independiente. Funciona de manera independiente de los otros circuitos a través de válvulas de aislamiento permanente y discontinuidades en la red. Posee medición permanente

**Cliente.** Corresponde al usuario que se encuentra actualmente registrado en la base de datos de cada uno de los municipios en los que presta servicio EPM.

**Cloro residual.** Concentración de cloro existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto determinado.

**Coefficiente de almacenamiento.** Medida del volumen de agua drenado por unidad de área cuando la presión estática desciende un metro en un acuífero.

**Coefficiente de consumo máximo diario.** Relación entre el consumo máximo diario y el consumo medio diario.

**Coefficiente de consumo máximo horario con relación al máximo diario.** Relación entre el consumo máximo horario y el consumo máximo diario.

**Coefficiente de consumo máximo horario.** Relación entre el consumo máximo horario y el consumo medio diario.

**Coefficiente de decaimiento.** Es una magnitud que caracteriza la pérdida de un contaminante cuando éste desaparece por medio de algún tipo de proceso químico.

**Coefficiente de fricción.** Coeficiente que representa el efecto de la fricción entre el flujo y la pared del canal, depende de la rugosidad relativa de la tubería o canal y del número de Reynolds.

**Coefficiente 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 de velocidad.

**Coefficiente de rugosidad.** Medida de la rugosidad de una superficie, que depende del material y del estado de la superficie interna de una tubería.

**Conducción.** Componente a través del cual se transporta agua potable, ya sea a flujo libre o a presión.

**Conducto.** Estructura hidráulica cerrada destinada al transporte de agua a presión.

**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.

**Contaminación.** Pérdida de calidad del agua debido a la adición de cualquier sustancia en cantidad suficiente para que cause efectos dañinos mensurables sobre el medio ambiente.

**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 clave o corona.** 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.** Superficie geográfica que drena hacia un punto determinado.

**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 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.

**Demanda unitaria.** 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 nominal.** Es el número con el cual se conoce comúnmente el diámetro de una tubería, a pesar de que algunas veces su valor no coincida con el diámetro real interno.

**Diámetro interno real.** Diámetro interno de una tubería determinado con elementos apropiados.

**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.

**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.

**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 entre dos puntos.

**Estación de bombeo.** Componente destinado a aumentar la presión del agua con el objeto de transportarla a estructuras más elevadas.

**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.

**Expansión.** Desarrollo de la infraestructura necesaria para llevar el agua potable hasta los tanques de almacenamiento, con el fin de crear condiciones para la construcción de redes de acueducto, generalmente están a cargo de los interesados y usuarios finales del servicio, que permitan elevar la cota de prestación.

**Expansión térmica.** Ver Dilatación.

**Extrusión.** Es un proceso de fabricación continuo, en que la resina, fundida por la acción de temperatura y fricción, es forzada a pasar por un dado que le proporciona una forma definida, y enfriada finalmente para evitar deformaciones permanentes.

**Evaluación socioeconómica.** Estudio que busca la solución más eficiente para un problema, considerando aspectos económicos y el beneficio de la comunidad.

**Factor de Mayoración.** Factor de seguridad con el cual se afecta la demanda de agua potable en un proyecto de acueducto.

**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 inerciales.

**Flujo supercrítico.** Flujo en el cual las fuerzas inerciales son más importantes que las fuerzas gravitacionales.

**Fuerza hidrodinámica.** Fuerza que actúa sobre un fluido considerado de tipo ideal.

**Fugas.** Cantidad de agua que se pierde en un sistema de acueducto por accidentes en la operación, tales como rotura o fisura de tubos, rebose de tanques, o fallas en las uniones entre las tuberías y los accesorios.

**Georreferenciar.** Acción de ubicar uno o varios puntos a partir de un grupo de puntos semejantes previamente localizados.

**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 para 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 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 clientes de éstas, en un período determinado.

**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.

**Línea de energía.** Línea o elevación obtenida como la suma de la altura de presión, la altura 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 de presión y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.

**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, destinados 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 conducción y distribución en diferentes sectores.

**Macromedidor.** Aparato utilizado con el objetivo de tomar mediciones de grandes caudales en puntos específicos de un sistema de acueducto.

**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.

**Medición.** Sistema destinado a registrar o totalizar la cantidad de agua transportada por un conducto.

**Medidor domiciliario.** Aparato utilizado para medir los volúmenes de agua consumidos por un cliente del sistema de distribución de agua potable.

**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.

**Modernización.** Programa que busca la mejora tecnológica, una mayor tasa de producción, una mejor calidad y disminuir los costos de suministros en general. Incluye las inversiones para ampliación de capacidad o instalación de nuevas redes, necesarias para vincular clientes en zonas con cobertura del servicio.

**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 éste 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 freático.** Nivel del agua subterránea en un acuífero.

**Nudo de consumo.** Punto en el cual se unen dos o más tuberías y se presenta una conexión de un grupo de clientes.

**NPSH** (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 inerciales 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 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.** Diferencia entre el volumen de agua que entra a un sistema de acueducto y aquel que sale o es facturado, dependiendo del sistema.

**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 técnicas en la red de distribución.** Corresponden a las fugas de agua tanto detectables como no detectables.

**Pérdidas en tanques de almacenamiento.** Son las pérdidas de agua potable por reboses en los tanques de almacenamiento.

**Pérdidas menores.** Pérdidas de energía locales.

**Pérdidas por fricción.** Pérdida de energía causada por los esfuerzos cortantes generados por la interacción entre el flujo de agua y las paredes de un conducto.

**Pérdidas totales.** 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.

**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.

**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).

**Población de diseño.** Población que se espera atender con 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 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.

**POT.** Plan de Ordenamiento Territorial.

**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 diseño (PD):** Equivale a la Presión máxima (Pmax) por el factor de seguridad (FS)

**Presión de trabajo o presión nominal.** Es la presión máxima a la cual los elementos de la red pueden trabajar normalmente durante su vida útil.

**Presión de transitorio positiva (PTM):** Es la máxima presión debido al transitorio máximo calculado

**Presión de transitorio negativa (PTN):** Es la máxima presión debido al transitorio máximo calculado

**Presión de vapor.** Presión a la que a cada temperatura las fases líquida y gaseosa se encuentran en equilibrio.

**Presión dinámica.** Presión que genera un fluido en un conducto cuando esté en movimiento.

**Presión estática.** Presión en un conducto cuando el fluido no se encuentra en movimiento. También es la presión a la cual está sometida la tubería desde el tanque de alimentación del circuito.

**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 máxima (Pmax):** Es la presión crítica a la que está sometida el diseño que puede ser la estática, dinámica o de transitorio.

**Presión negativa.** Presión en un conducto cuando la presión interna es menor que 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 canal.

**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 escalonada.** Prueba de bombeo realizada con diferentes caudales en un período de tiempo determinado.

**Punto muerto.** Ver Zona muerta.

**Radio hidráulico.** Relación entre el área mojada y el perímetro mojado de una sección transversal de un ducto.

**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.

**Rehabilitación.** Proceso de diseño y/o construcción para el mejoramiento de la operación de los sistemas para la correcta prestación del servicio

**Rebose.** Estructura cuyo fin es captar y desviar el exceso de caudal de agua que transporta o almacena un sistema de acueducto.

**Recubrimiento externo.** Ver Revestimiento.

**Recubrimiento interno.** Ver Revestimiento.

**Red cerrada.** Sistema de tuberías que se caracteriza por tener algún circuito cerrado (loop), con el objetivo de tener un sistema redundante, aumentando así la confiabilidad del sistema.

**Red de conducción (Red primaria).** Serie de tuberías que transportan el agua desde las plantas de tratamiento hacia los tanques de almacenamiento y/o compensación, o entre tanques.

**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 de distribución primaria (Red principal de distribución).** 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 a las redes secundarias o redes locales, ésta no reparte agua en ruta.

**Red secundaria de distribución (Red local).** Parte de la red de distribución que se deriva de la red de distribución primaria o red principal de distribución a partir del punto donde se garantice cota de servicio, que distribuye el agua a los barrios y urbanizaciones de la ciudad y que puede repartir agua en ruta. También se define como el conjunto de tuberías del cual se derivan acometidas de los inmuebles.

**Registro de corte.** Dispositivo de suspensión del servicio de acueducto de un inmueble, situado en la cajilla del medidor.

**Rejilla.** Dispositivo instalado en una captación para impedir el paso de elementos flotantes o sólidos grandes.

**Relación de Poisson.** Es una medida de la contracción lateral de un material.

**Reposición:** Proceso para reemplazar infraestructura o sus componentes que ya estaban en funcionamiento y que han sufrido deterioro como consecuencia del uso, no implica mejora tecnológica, de capacidad, de forma o de estrategias de operación.

**Resalto hidráulico.** Fenómeno hidráulico en el cual el flujo presenta un cambio de profundidad desde muy bajo hasta muy alto.

**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.

**Salidas 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.

**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 operación.

**Sedimentación.** Proceso mediante 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.

**SIGMA.** Sistema de Información Geográfica de Medellín y el Valle de Aburrá.

**Sistemas de Acueducto.** Conjunto de elementos y estructuras cuya función es 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 captación, transporte y evacuación hacia las plantas de tratamiento y/o cuerpos receptores de agua, las aguas residuales y/o lluvias producidas en una ciudad o municipio.

**SIG.** Sistema de información geográfico 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.

**Sistemas de Posicionamiento Global.** Sistema que a través de satélites, permite determinar en todo el mundo la posición de una persona o un elemento una nave, con una gran precisión.

**Sistema experto.** Son programas 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 agua, el cual permite a los usuarios contar con un servicio de agua con suficiente presión en todos los aparatos hidrosanitarios.

**Sistema interconectado.** Sistema único de acueducto operado por EPM en el Área Metropolitana y el Valle de Aburrá.

**Sobrepresión.** Efecto del golpe de ariete, causado por el aumento de presión, repentino y en gran magnitud, debido a la operación de una válvula.

**Socavación.** Perturbación y afectación de una zona (canal, río, estructura) por efecto del paso de agua a grandes velocidades.

**Subcircuito.** División del circuito que se configura para cumplir con los parámetros de presión máxima y mínima establecidos por la normatividad. El tamaño óptimo aceptado es de veinticinco (25) km de red, y un tamaño mínimo de cuatro (4) km de red. El subcircuito, cuenta con aislamiento permanente de los demás subcircuitos, con tuberías de entrada de suministro limitadas, identificables y que puedan monitorearse. El subcircuito cuenta con medición de caudal permanente, si su tamaño es mayor de veinte (20) km de red, y si tiene una longitud de red menos a veinte (20) km, la medición de caudal puede ser temporal.

**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.

**Sumergencia.** Acción de estar inmerso en agua relacionada con sistemas de tubería-bomba.

**Suspensión del servicio.** Interrupción en la operación del sistema de distribución de agua potable debido a operaciones de emergencia y/o mantenimiento.

**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.

**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.** Grupo de tecnologías para la instalación remota, la rehabilitación o la reparación de redes de servicios públicos, donde no se requieren excavar una brecha continua para la instalación de nuevas tuberías o la reparación o renovación de tuberías viejas.

**Telemetría.** Conjunto de datos, normalmente mediciones, transmitidos desde un sensor remoto a un receptor.

**Tiempo de vaciado.** Es el tiempo requerido para desocupar un tanque de almacenamiento o de compensación.

**Tiempo de llenado.** Es el tiempo requerido para llenar un tanque de almacenamiento o de compensación.

**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.

**Toxicidad.** Sustancia o material que tiene el potencial de causar la muerte, lesiones graves o, efectos perjudiciales para la salud del ser humano si se ingiere, inhala o entra en contacto con la piel.

**Transductor de presión.** Aparato que recibe una señal y la transforma en términos de presión.

**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 a presión.** Ver Flujo a Presión.

**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.

**Unidad Control Operativo. UCO.** Es la unidad mínima operativa. El número de UCOS que componen el subcircuito son mínimo dos. El tamaño máximo de la unidad de control operativo será de 4 km de red. La finalidad de la unidad de control operativo es la investigación: del funcionamiento de la red, los consumos, la determinación de los caudales mínimos nocturnos y la determinación y ubicación pérdidas del subcircuito.

**Unión.** Accesorio cuya función es conectar tuberías y accesorios entre si, como parte de una red 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 control 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, descargues 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 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 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 de sobrevelocidad.** Válvulas utilizadas cuando se requiera cerrar o aislar una tubería ante un cambio repentino de caudal (fijado).

**Válvulas sostenedoras de presión.** Válvula utilizada 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 vaciado y llenado de tuberías.

**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 presenta velocidades muy bajas o nulas.

## Capítulo 2 ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO

### 2.1 ALCANCE

El propósito de la presente norma de diseño de sistemas de acueducto de EPM 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 y el diseño de sistemas de acueducto, incluyendo adicionalmente aspectos del diseño que deben ser tenidos en cuenta en las etapas de construcción, la puesta en marcha, la interventoría, la operación y el mantenimiento de dichos sistemas. Esto se hace con el fin de garantizar la seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad técnica, eficiencia de operación, sostenibilidad de los sistemas y redundancia de estos.

La presente norma incluye el cálculo de la población, la dotación y la demanda para el diseño de sistemas de acueducto; el diseño de las conducciones de agua tratada desde las plantas de tratamiento hasta los tanques de almacenamiento y/o compensación; el diseño de las redes de distribución de agua potable; el diseño de las estaciones de bombeo y el diseño de los tanques de almacenamiento y/o compensación. También se incluyen aquellos aspectos que desde el diseño tengan influencia sobre los procesos de construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de sistemas de acueducto, así como aspectos relacionados con la interventoría de diseños y aspectos ambientales relacionados con dichos sistemas para los municipios atendidos por EPM que correspondan a los diferentes Niveles de Complejidad de los Sistemas según lo establecido por el RAS vigente. La Tabla 2-1 muestra un esquema del contenido de esta norma.

Tabla 2-1 Contenido de la norma de diseño de redes de acueducto de EPM

Componente	Capítulo
Referenciación general	1
Aspectos generales de los sistemas de acueducto	2
Población, dotación y demanda	3
Conducciones	4
Redes de distribución	5
Estaciones de bombeo	6
Tanques de almacenamiento y/o compensación	7
Aspectos ambientales	8
Interventoría	9

### 2.2 PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO

Toda acción relacionada con el diseño de sistemas de acueducto para EPM, debe seguir el procedimiento general descrito en los Numerales 2.2.1 a 2.2.12, mostrados a continuación. En general los Pasos 1 a 7 forman parte de la fase de la planeación de los proyectos; los Pasos 8, 9 y 10 forman parte de la fase de diseño y los pasos 11 y 12 deben ser desarrollados en forma independiente y posterior al proceso de diseño.

#### 2.2.1 PASO 1 - Definición del tamaño del sistema

El primer paso para el diseño de un proyecto relacionado con sistemas de acueducto, es la definición del tamaño de éste, para lo cual se debe tener en cuenta que el sistema de acueducto de la ciudad de Medellín y el Valle de Aburrá es un sólo sistema y se clasifica como un sistema de Nivel de Complejidad Alto de acuerdo con el RAS vigente. Para definir el tamaño del proyecto se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Cualquier municipio que se anexe al sistema de distribución de acueducto de la ciudad de Medellín, debe adoptar el Nivel de Complejidad del Sistema Alto.

2. En el caso de municipios cuyo sistema de acueducto sea atendido por EPM, pero que no formen parte del sistema que abastece el Valle de Aburra, se debe seguir lo establecido en el Título A del RAS vigente. Para establecer este Nivel de Complejidad del Sistema se debe hacer una proyección de la población en la zona urbana del municipio y un estudio para establecer la capacidad socioeconómica de sus habitantes, de acuerdo con lo establecido en la Tabla 2-2.
3. La clasificación del proyecto de acueducto deberá estar de acuerdo con el Nivel de Complejidad del Sistema del cual formará parte.

**Tabla 2-2 Asignación del Nivel de Complejidad (Tomado del RAS 2000)**

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (1) (habitantes)	Capacidad económica de los clientes(2)
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

**Notas:**(1) Proyectado al período de diseño, incluida la población flotante.

(2) Incluye la capacidad económica de población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP o cualquier otro método justificado.

4. Las Empresas Públicas de Medellín podrán exigir al diseñador la adopción de un Nivel de Complejidad de un sistema, mayor al determinado con la metodología propuesta en el RAS vigente siempre y cuando, el municipio cumpla con los siguientes requisitos:

- a. Que técnicamente se justifique que con el Nivel de Complejidad establecido inicialmente no se logra la solución necesaria para el problema de abastecimiento de agua potable y por consiguiente es conveniente la adopción de un Nivel de Complejidad superior.

- b. Que se demuestre capacidad de inversión y capacidad técnica de operación y mantenimiento para desarrollar el sistema en un Nivel de Complejidad superior, teniendo en cuenta que el sistema va a tener el apoyo de EPM.

En caso de que el Nivel de Complejidad del Sistema adoptado sea el Alto, el diseñador debe aplicar todo lo establecido en la presente norma. En caso contrario, EPM debe decidir sobre la aplicación de esta norma o en su defecto el RAS, en su versión vigente.

### 2.2.2 PASO 2 - Conocimiento del marco institucional

Con el fin de llevar a cabo el diseño del sistema de acueducto, se deben conocer las diferentes entidades y actores relacionados con la prestación del servicio público del suministro de agua potable, con el fin de establecer las responsabilidades y las funciones de cada uno de ellos. Las entidades y actores que deben identificarse, entre otros, son:

1. Las Empresas Públicas de Medellín
2. El diseñador.
3. El constructor.
4. Las administraciones de los municipios.
5. Las entidades territoriales competentes.
6. Las entidades de Planeación (DNP, MADS, MV, MSP, DMSP, etc.)
7. La entidad reguladora (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA).
8. Las entidades de vigilancia y control (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD, MSP).
9. El interventor.
10. La autoridad ambiental competente (MADS, las corporaciones autónomas regionales, etc).
11. Las fuentes de financiación para el proyecto (FINDETER, FNR, etc.).
12. La comunidad

### 2.2.3 PASO 3 - Aspectos legales

Para llevar a cabo el proceso de diseño de un sistema de acueducto, se deben conocer todas

las leyes, decretos, reglamentos técnicos y normas técnicas que estén relacionadas con la conceptualización, el diseño, la operación, la construcción, el mantenimiento, la supervisión técnica y la operación de este tipo de sistemas.

Además se debe tener en cuenta lo establecido en el Capítulo 8 “Aspectos Ambientales y legales”, sobre los aspectos legales necesarios con el fin de garantizar la sostenibilidad y el desarrollo adecuado del sistema de acueducto o de cualquiera de sus componentes.

Debe tenerse en cuenta los compromisos adquiridos por el estado colombiano en lo referente con los Objetivos del Milenio

#### **2.2.4 PASO 4 - Aspectos ambientales relacionados con el sistema de acueducto**

Todo proyecto de diseño de un sistema de acueducto debe seguir lo establecido en el Capítulo 8 de esta norma, referente a los aspectos ambientales. con el fin de garantizar la sostenibilidad y el desarrollo adecuado del sistema de acueducto o de cualquiera de sus componentes.

También deben tenerse en cuenta los mapas de riesgo del sistema para la protección y control de la calidad del agua, 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.

En general, para la ejecución de las obras relacionadas con el sistema de acueducto y sus actividades complementarias, se debe obtener el permiso correspondiente ante la autoridad ambiental competente cuando se requiera.

Así mismo, se debe tener en cuenta lo previsto en el parágrafo del Artículo 43 de la Ley 99 de 1993, con respecto a la Tasa por Utilización de Aguas.

#### **2.2.5 PASO 5 - Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previstos para los municipios atendidos por EPM.**

Para llevar a cabo un proyecto de acueducto se deben conocer los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial planteados dentro del marco de la Ley 388 de 1997, o aquella que la remplace, y establecer las implicaciones que el sistema de acueducto tendrá dentro de la dinámica del desarrollo urbano de los municipios atendidos por EPM.

En particular, el diseño de un sistema de acueducto debe contemplar la dinámica del desarrollo urbano municipal previstas para el corto, mediano y largo plazo de las áreas habitadas hoy en día y las proyectadas en los próximos años, teniendo en cuenta la estratificación socioeconómica, la utilización del suelo, zonas de riesgo, la población de saturación, el plan vial del municipio y las zonas de conservación y protección de recursos naturales y ambientales, entre otros.

Cuando por motivos ambientales, técnicos o económicos no sea posible localizar parte de la infraestructura en la zona de cobertura de EPM, se debe gestionar la autorización ante el gobierno municipal competente y conseguir las garantías necesarias para asegurar la prestación del servicio, previo cumplimiento de las normas legales vigentes.

#### **2.2.6 PASO 6 – Evaluación socioeconómica**

Todo proyecto de un sistema de acueducto debe estar justificado desde el punto de vista socioeconómico con la identificación de un problema de bienestar social, de salud pública, o de impacto al medio ambiente, el cual debe tener solución con la ejecución del diseño propuesto, ya sea mediante la ampliación de la cobertura de servicio de acueducto o a través de una mejora en su eficiencia y/o calidad.

La evaluación socioeconómica del proyecto de acueducto debe realizarse con el objetivo de establecer su aporte neto al bienestar de la

comunidad. Es decir, debe tener la capacidad de establecer la bondad del proyecto para la economía municipal en su conjunto.

Para establecer la evaluación socioeconómica del proyecto de acueducto se deben ejecutar, como mínimo los siguientes estudios socioeconómicos:

1. Análisis de costo eficiencia
2. Análisis de costo mínimo de expansión de capacidad

En el Anexo 2.1 de este Capítulo se definen las diferentes variables que deben utilizarse para los estudios socioeconómicos y se hace una descripción de éstos.

### **2.2.7 PASO 7 - Definición del alcance del Proyecto**

Una vez justificado el proyecto se debe hacer una definición de los alcances específicos. Estos pueden incluir el diseño de un sistema completamente nuevo en un área anexa a alguno de los municipios atendidos por EPM, la extensión de un sistema de acueducto existente, la ampliación de un sistema existente por aumento en la densidad poblacional en el período de diseño, una mejora en la distribución de presiones en la red de distribución, una sectorización hidráulica de la red de distribución, un 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 cambio en la forma de operación hidráulica con el fin de facilitar las labores de operación y mantenimiento del sistema, etc.

### **2.2.8 PASO 8 - Estudios previos**

Para llevar a cabo el diseño de un sistema de acueducto o parte de éste, ya sea un sistema nuevo o una ampliación, se deben conocer las condiciones físicas, económicas y sociales de la localidad o municipio en la cual se va a llevar a cabo el proyecto. Los estudios previos durante la etapa de diseño se indican en los Numerales 4.2, 5.2, 6.2 y 7.2 de esta norma, para las conducciones, las redes de distribución, las estaciones de bombeo y los

tanques de almacenamiento y/o compensación respectivamente.

### **2.2.9 PASO 9 – Generación de alternativas y optimización**

Teniendo en cuenta los resultados de los estudios previos y la información relevante dada por EPM, el diseñador debe generar diferentes alternativas de diseño para los proyectos de sistemas de acueducto, de tal forma que puedan ser evaluadas dentro de un proceso de optimización financiera que permita escoger aquella de menor costo, la cual debe ser objeto del diseño definitivo. La generación de alternativas debe estar regida por lo establecido en el Numeral “Generación de Alternativas” de los Capítulos 4, 5, 6 y 7 de esta norma.

### **2.2.10 PASO 10 – Diseño y requerimientos técnicos**

El diseño de la alternativa seleccionada de cualquier componente de un sistema de acueducto debe cumplir con los requisitos establecidos en la presente norma en sus Capítulos 3, 4, 5, 6 y 7.

### **2.2.11 PASO 11 - Construcción e interventoría**

El proceso de construcción de los sistemas de acueducto debe cumplir los requisitos mínimos establecidos en el manual “Normas y Especificaciones Generales de Construcción” de EPM y en los pliegos de licitación de cada proyecto en particular.

Los procesos de construcción e interventoría se deben ajustar a los requisitos mínimos establecidos por EPM o en su defecto por lo definido en el Título A del RAS vigente. Así mismo, se debe tener en cuenta lo establecido en el Capítulo G.6 “Vulnerabilidad y Reducción de Riesgos” del Título G y el Literal A.1.5 “Sobre Otros Reglamentos Técnicos” del Título A del RAS, en su versión vigente.

### **2.2.12 PASO 12 - Puesta en marcha, operación y mantenimiento del sistema de acueducto**

Los procedimientos y las medidas pertinentes a la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los diferentes componentes del sistema de acueducto diseñado, deben seguir los requerimientos establecidos para cada componente en particular, según lo establecido en los Capítulos 4 a 7.

## **2.3 TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN PARA LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO**

Con el fin de llevar a cabo el diseño de sistemas de acueducto nuevos o expansiones de sistemas de acueducto existentes, el diseñador debe hacer uso de tecnologías de información, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones.

### **2.3.1 Sistemas de Información Geográfica**

Los sistemas de información geográfica utilizados para llevar a cabo el diseño deben permitir el manejo de toda la información de la red de acueducto en un modelo digital, que dé la facilidad de generar las entradas al modelo de manera simple y rápida. Además debe permitir la posibilidad de realizar una actualización y seguimiento continuo de la red, alimentándolo con cualquier información nueva adquirida de manera posterior. El sistema de información geográfica que debe ser utilizado en el diseño debe ser compatible con el SIGMA de EPM, sistema sobre el cual esta creada toda la base de datos de información sobre la red de acueducto.

### **2.3.2 Programas de diseño de redes de acueducto**

Los programas para simular y diseñar los sistemas de acueducto deben estar basados en ecuaciones de resistencia fluida físicamente basadas, las cuales permiten obtener diseños y resultados de simulaciones óptimos. Los programas de análisis hidráulico deben tener la

capacidad de simular condiciones de flujo uniforme en la red, así como condiciones de flujo no permanente con las correspondientes condiciones de frontera.

Adicionalmente Además, el programa seleccionado debe permitir el intercambio directo de información con el sistema de información geográfica y las bases de datos definidas por el SIGMA de EPM.

EPM aprobará el programa y los parámetros a utilizar por el diseñador.

Para la georeferenciación, debe tenerse en cuenta las plantillas del equipo CIRA, las cuales están en la página web [www.epm.com.co](http://www.epm.com.co)

## **2.4 PLANOS Y MEMORIAS DE CÁLCULO**

Los requisitos para la presentación de los planos y las memorias de cálculo relacionados con los procesos de diseño de conducciones, redes de distribución de agua potable, estaciones de bombeo y tanques de almacenamiento y/o compensación para EPM, se deben establecer de acuerdo con los numerales establecidos a continuación.

### **2.4.1 Planos**

Con respecto al tipo de planos y su presentación, a la información mínima que debe estar contenida en los planos y a las convenciones y escalas de estos, para los proyectos de diseño de sistemas de acueducto se deben tener en cuenta los manuales de dibujo de EPM vigentes.

### **2.4.2 Memorias de cálculo**

Para las memorias de cálculo de los diseños de las redes de conducción y distribución de agua potable, estaciones de bombeo y tanques de almacenamiento y/o compensación, se debe seguir lo establecido en el Literal A.6.2 "Memorias" del Título A del RAS vigente. Éste establece que los planos arquitectónicos,

hidráulicos, estructurales y mecánicos que sean necesarios para la ejecución de la obra de acueducto deben ir acompañados por memorias de cálculo detalladas que describan los procedimientos por los cuales se realizaron dichos diseños. Entre otras cosas, las memorias de cálculo deben incluir lo siguiente:

- a. Informe del resultado de los estudios previos y las suposiciones utilizadas en los diseños.
- b. Las metodologías y ecuaciones de diseño utilizadas.
- c. La verificación del cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos por la presente norma de diseño de acueductos.
- 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. Los esquemas con base en los cuales se realizaron los planos de construcción.
- f. La referencia a las leyes, decretos y códigos nacionales.
- g. En el caso en que para el proceso de diseño se utilice un procesamiento automático de información, debe entregarse una descripción detallada de los principios en que se basa dicho procedimiento así como una descripción de los datos de entrada y salida del proceso computacional.
- h. El protocolo y los procedimientos de prueba dados por el diseñador.
- i. El presupuesto detallado, soportado por un análisis de precios unitarios con la fecha precisa de su elaboración, en los casos que aplique.
- j. Las memorias de cálculo deben indicar claramente el tamaño del Sistema y el Nivel de Complejidad de éste utilizado en los diseños, en los procedimientos detallados y demás actividades del proyecto. Las memorias de cálculo deben ser aprobadas por el interventor de los diseños, y éste podrá invalidar las que contengan errores aritméticos, cotas, abscisas, de transcripción, copia u otras

fallas imputables al descuido o a la falta de revisión por parte del diseñador.

- k. Informes ambiental, análisis de riesgos, social, en los casos en que aplique.

## 2.5 CALIDADES Y REQUISITOS DE LOS PROFESIONALES

### 2.5.1 Aspectos Generales

Todos los profesionales que participen en la ejecución del diseño de un sistema de acueducto para EPM, deben acreditar los requisitos de experiencia e idoneidad establecidos en el RAS vigente, "Idoneidad y Experiencia".

En particular, la experiencia de los profesionales debe acreditarse según las actividades específicas realizadas en cada proyecto, las cuales deben estar directamente relacionadas con actividades de diseño, de acuerdo con el RAS vigente.

### 2.5.2 Calidad de los diseñadores y de los interventores o revisores de diseño

El título profesional de los diseñadores y/o interventores de diseño debe obedecer al trabajo específico desarrollado.

Todos los profesionales deben tener matrícula profesional vigente y no estar sancionados por El Concejo Profesional Nacional de Ingeniería (COPNIA) o el organismo que lo remplace y su experiencia acreditada se debe contar a partir de la expedición de ésta. La experiencia mínima de diseñadores, interventores o revisores de diseño debe ser la establecida en el título A del RAS vigente. En todo caso, de acuerdo con la magnitud del proyecto, EPM puede hacer exigencias mayores en cuanto a estos requisitos.

### 2.5.3 Personal auxiliar profesional y no profesional

El personal auxiliar profesional y no profesional que participe en labores relacionadas con sistemas de acueducto para EPM, debe acreditar las calificaciones y experiencia que establezca EPM. En particular, la experiencia del personal auxiliar profesional y no profesional debe acreditarse según las actividades específicas realizadas en cada proyecto.

El personal auxiliar profesional y no profesional, incluye entre otros, los auxiliares de ingeniería, los topógrafos, los programadores, los dibujantes, entre otros.

## 2.6 COMITÉ ASESOR DE LAS NORMAS

### 2.6.1 Propósito

Con el fin de mantener actualizada esta norma de diseño de sistemas de acueducto, se establece el Comité Asesor de las Normas cuyo objetivo es el de modificar, complementar, y/o aprobar el contenido de ésta.

### 2.6.2 Integración

El Comité Asesor para las normas de diseño de sistemas de acueducto de EPM, está conformado por un (1) profesional representante de las diferentes áreas de la empresa, con conocimiento de los siguientes temas:

1. Conducciones
2. Equipos electromecánicos
3. Distribución secundaria
4. Tanques de almacenamiento
5. Estaciones de bombeo

En temas especiales, también pueden formar parte del Comité un (1) representante de la academia vinculado al área de hidráulica o sanitaria y un (1) ingeniero consultor independiente con amplia experiencia en

diseño de sistemas de acueducto. Con la aprobación correspondiente.

### 2.6.3 Funciones

Las siguientes serán funciones generales del Comité Asesor de las Normas de diseño de sistemas de acueducto de EPM:

1. Revisar, modificar y actualizar en forma permanente la norma de diseño de sistemas de acueducto de EPM.
2. Atender y analizar las inquietudes y sugerencias de orden técnico formuladas por diseñadores, interventores, personal de operación y mantenimiento de EPM e ingenieros en general, y canalizadas por la Dirección de Aguas, en relación con la aplicabilidad de la nueva norma y cambios sugeridos para la actualización de ésta.
3. Incorporar a la normas nuevas metodologías de diseño de redes de conducciones o redes de distribución de agua potable, estaciones de bombeo y tanques de almacenamiento y/o compensación.
4. Incorporar a la norma nuevos materiales que puedan ser utilizados para tuberías, accesorios y en general en cualquier estructura que forme parte del sistema de acueducto.
5. Incorporar a la norma nuevas tecnologías de construcción, especialmente aquellas relacionadas con la instalación de tuberías.
6. Incorporar a la norma nuevos programas de soporte lógico (software) que puedan ser utilizados para el diseño de sistemas de acueducto. Esto incluye entre otros, programas para el diseño hidráulico de redes, bases de datos, sistemas de información geográfica, sistemas de procesamiento de señales remotas, etc.
7. Incorporar a la norma nuevas tecnologías para la adquisición remota de datos incluyendo los instrumentos de medición, los instrumentos de comunicación y transmisión electrónico

de datos, y el registro lógico (software) necesario para su análisis.

## **2.7 TIPOS DE SUELO Y OBRAS**

### **2.7.1 Tipos de suelo para obras de sistemas de acueducto**

La clasificación de los suelos en los cuales existe la posibilidad de realizar una obra relacionada con sistemas de acueducto, debe ser la establecida por la Ley 388 de 1997 ó Ley de Desarrollo Territorial.

En el Capítulo IV de esta Ley, se establece que los Planes de Ordenamiento Territorial – POT, deben clasificar el territorio de los municipios, en este caso los municipios atendidos por EPM, en los siguientes:

1. Suelo urbano
2. Suelo de expansión urbana
3. Suelo rural
4. Suelo suburbano
5. Suelo de protección

El Plan de Ordenamiento Territorial (Artículo 14 de la Ley 388/97) establece las políticas para la adecuada interacción entre los

asentamientos rurales y la cabecera municipal, el uso del suelo rural y la ubicación de las obras de acueducto para las áreas urbanas, suburbanas y rurales.

También se debe hacer referencia a la Ley 99 de 1993 ó Ley del Medio Ambiente, la cual se refiere a las Áreas Naturales Protegidas, que requieren de un manejo especial de los recursos naturales renovables.

### **2.7.2 Tipo de obras de acueducto**

En general, las obras de sistemas de acueducto que pueden ser desarrolladas por EPM, se pueden clasificar en:

1. Obras de ampliación
2. Obras de expansión
3. Obras de reposición
4. Obras de optimización

Para cada uno de estos tipos de obras relacionadas con sistemas de acueducto, el diseño debe tener en cuenta el tipo de suelo o zona afectada por el proyecto, con el fin de determinar el tipo de manejo ambiental que se debe implementar.

## **2.8 ANEXO 2.1 EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA**

Todo proyecto de sistemas de acueducto que sea desarrollado por EPM, debe ser objeto de un procedimiento de evaluación socioeconómica que permita medir el aporte neto del proyecto al bienestar de la comunidad. Este análisis socio económico debe hacerse según lo establecido en el RAS vigente, en el cual se determina que un análisis socioeconómico debe hacer uso de las metodologías de Análisis de Costo Eficiencia y Análisis de Costo Mínimo de Expansión de Capacidad.

Los estudios de evaluación socioeconómica deben ejecutarse para los niveles de complejidad medio, medio alto y alto y para los municipios atendidos por EPM que se determine que requieren de estos.

### **A.2.1.1 Análisis Costo Eficiencia**

El objetivo principal de un estudio de costo eficiencia es el de establecer la comparación de los costos de las diferentes alternativas factibles de los proyectos de acueducto, con el fin de establecer aquella que tenga el menor valor presente de los costos de inversión, operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto.

### **A.2.1.2 Análisis de Costo Mínimo de Expansión de Capacidad**

El objetivo de un análisis de costo mínimo de expansión de capacidad del sistema de acueducto debe ser el de fijar los años que resulten óptimos para la ejecución de la expansión de la capacidad de distribución del sistema, teniendo en cuenta el efecto opuesto que se presenta entre las economías de escala y el costo de oportunidad de capital.

## Capítulo 3 **POBLACIÓN, DOTACIÓN Y DEMANDA**

### 3.1 **ALCANCE**

En este Capítulo se establecen los procedimientos que deben seguirse para evaluar la población, la dotación bruta y la demanda de agua en un sistema de acueducto, con el fin de determinar la capacidad real que debe tener cada componente particular a lo largo del período de diseño determinado.

Para el cálculo de la demanda de agua, el consultor o la persona prestadora del servicio debe primeramente calcular la proyección de la demanda utilizando los datos de demanda de agua existentes en el municipio o en la zona de este objeto del diseño. En caso que no exista la información de demanda requerida, se recomienda en segundo lugar la proyección de los usuarios del sistema. Como última opción y cuando no exista información de demanda o de usuarios o ésta no sea confiable, se debe realizar la proyección de la población del municipio o de la zona objeto del diseño.

Para el municipio de Medellín y los demás municipios atendidos por EPM, la demanda de agua de un sistema de acueducto se calcula con base en la proyección de clientes que realiza EPM, así como con la dotación bruta por cliente calculada para cada circuito de los sistemas de acueducto.

### 3.2 **ESTIMACIÓN DE LOS USUARIOS DEL SISTEMA**

En caso de que el diseño del proyecto de acueducto incluya una zona de un municipio en la cual no se tenga la proyección de clientes, las dependencias encargadas de la planeación y comercialización de proyectos de EPM deben hacer la estimación y ajustes de la población de acuerdo con los siguientes numerales.

Para llevar a cabo el diseño de una nueva red de acueducto, el diseñador debe calcular los caudales demandados. Para esto debe conocer ya sea los clientes o la población tanto actuales como futuros, proyectados al período de diseño. En caso de que exista la proyección futura de clientes hecha por EPM o exista la información necesaria para llevar a cabo la proyección futura de clientes, el cálculo de los caudales se debe hacer utilizando la dotación por clientes descrita en el Numeral 3.4. El cálculo de la proyección futura de clientes se debe hacer de acuerdo con el Numeral 3.2.1.

En caso de que el diseño de una red particular de acueducto incluya una zona de un municipio en la cual no se tenga la proyección de clientes, las dependencias encargadas de la planeación y comercialización de proyectos de EPM deben hacer la estimación y ajustes de población de acuerdo con los numerales 3.2.2 a 3.2.6.

#### 3.2.1 **Proyección de clientes al período de diseño del proyecto**

Para llevar a cabo el cálculo del número de clientes por abastecer, en el período de diseño del sistema de acueducto, el diseñador debe tener en cuenta:

- Comportamiento Histórico de los Suscriptores de la zona en estudio o entorno según Sistema Aguas EPM o de otros Sistemas Privados o Comunales cercanos.
- Plan de Desarrollo Municipal, meta de VIS (Vivienda de Interés Social).
- Plan de ordenamiento territorial, de cada municipio.
- Proyectos de Oferta y Demanda actividad edificadora - Camacol (Viviendas, Comercio).
- Crecimiento Suscriptores de Energía, EPM (u otro Ente prestador).
- Meta de crecimiento de Suscriptores del Sistema Aguas, EPM vs Presupuesto (corto y mediano plazo).
- Sectores subnormales, que hoy no hacen parte del sistema de facturación de EPM, en donde se tienen o es viable

la instalación de pilas públicas o medidores comunitarios.

Para llevar a cabo el cálculo futuro, el diseñador puede utilizar algunos de los siguientes métodos, con la previa aprobación de EPM:

- Métodos Matemáticos: aritméticos, geométricos, etc.
- Métodos Heurísticos de Ensayo y Error.
- Método de aproximaciones sucesivas.

### 3.2.2 Censos de Medellín y municipios atendidos por EPM

En caso de que en la zona objeto del diseño del sistema de acueducto no se cuente con los datos de densidad de saturación de acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial para Medellín y los municipios atendidos por EPM, se deben recolectar los datos demográficos de la zona, en especial aquellos contenidos en los censos de población del DANE y los censos disponibles de suscriptores de acueducto y otros servicios públicos de EPM. Con base en los datos anteriores deben obtenerse los parámetros que determinen el crecimiento de la población.

### 3.2.3 Censos de vivienda

Con respecto a los censos de vivienda, se deben utilizar los datos del DANE, acompañados de todos los datos registrados para las poblaciones o áreas correspondientes a la zona objeto del diseño del sistema de acueducto, indicando la fuente o el autor. Con base en estos datos debe obtenerse la tasa de crecimiento de vivienda. Con el fin de verificar los datos de vivienda del último censo, deben hacerse muestreos de las unidades habitacionales en cada zona de los municipios atendidos por EPM, al igual que los establecimientos comerciales, industriales y oficiales.

### 3.2.4 Densidades actuales y futuras

Con el fin de obtener las densidades futuras de población, se debe tener en cuenta la población de saturación establecida por el Plan de

Ordenamiento Territorial para los municipios atendidos por EPM. En caso de que en el período de diseño no se llegue a la población de saturación, la demanda de agua potable se debe proyectar a 30 años. Por otra parte, en caso de que la población de saturación sea menor a la proyectada, para el período de diseño, se debe utilizar la población de saturación para el diseño.

Teniendo en cuenta la identificación de las zonas actuales de la población y las zonas de expansión futuras, la densidad actual y la densidad proyectada deben hallarse con base en la población actual y futura de las zonas en las cuales se va a diseñar el proyecto de acueducto con el objetivo de verificar la expansión real del sistema.

Siempre se debe tener 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. Las densidades de población y su distribución espacial deben estar acorde con las normas urbanísticas de los municipios atendidos por EPM, con los planes de desarrollo, con los planes de ordenamiento territorial y con los demás programas formulados por el gobierno municipal que determinen la distribución espacial de la población; y los usos de la tierra atendiendo los programas desarrollados según la Ley 388 de 1997.

### 3.2.5 Métodos de cálculo

En caso de que no exista información sobre la población proyectada, el método de cálculo para la proyección de la población debe ser el geométrico, el logístico o el de Wappaus, detallado por zonas y detallando las densidades. Estos métodos de cálculo se encuentran explicados en la Guía RAS 001 "Definición del Nivel de Complejidad y Evaluación de la Población, la Dotación y la Demanda de Agua". Los datos de población deben ajustarse con la población flotante, la población migratoria y otros casos especiales que se encuentren en las diferentes zonas del municipio. En caso de falta de datos, se recomienda la revisión de la proyección de la

población teniendo en cuenta los datos disponibles en municipios cercanos que tengan un comportamiento similar al de la población objeto del diseño del sistema de acueducto.

### 3.2.6 Ajuste por población flotante y población migratoria

El cálculo de la población para ser abastecida de agua potable debe considerar todas las actividades turísticas, laborales, industriales y/o comerciales que representen poblaciones flotantes o poblaciones migratorias. Debe ajustarse la proyección de la población para tener en cuenta esta población flotante de acuerdo con los estudios socioeconómicos disponibles para los municipios atendidos por EPM.

En caso de que para la zona objeto del diseño del sistema de acueducto existan posibilidades de migración, éstas deben tenerse en cuenta en los estudios de proyección de la población. Para estos cálculos deben utilizarse las metodologías establecidas por el Departamento Nacional de Planeación o por la Oficina de Planeación del municipio.

## 3.3 USOS DEL AGUA

Para el diseño del sistema de acueducto, las dependencias encargadas de la planeación y comercialización de proyectos de EPM deben hacer un estudio de la dotación desagregada por usos y por zonas del municipio, el cual debe considerar los siguientes usos:

### 3.3.1 Uso residencial

Éste se define como el uso de agua potable destinado para el cubrimiento de las necesidades relacionadas con la vivienda de los clientes del municipio.

### 3.3.2 Uso comercial

Este uso de agua potable es el destinado a predios o inmuebles en donde se desarrollan actividades comerciales de almacenamiento o expendio de bienes, la gestión de negocios o venta de servicios y actividades similares tales

como almacenes, oficinas, consultorios y demás lugares de negocio.

Para establecer el uso comercial, se debe utilizar un censo comercial y realizar un estimativo de los consumos futuros. Se debe cuantificar y analizar detenidamente la dotación comercial de acuerdo con las características de dichos establecimientos. Se deben estudiar los consumos puntuales o concentrados de demanda. Para estos estudios podrán utilizarse dotaciones y demandas de zonas del municipio de Medellín en las que se cuente con datos de uso comercial.

### 3.3.3 Uso industrial

Este es el uso de agua potable destinado a inmuebles en los que se desarrollan actividades industriales que corresponden a procesos de transformación de materias primas o de otro orden.

Para establecer el uso industrial, se deben hacer censos industriales y estimativos de consumos futuros. Se debe cuantificar y analizar la dotación industrial teniendo en cuenta las características de dichos establecimientos. Deben estudiarse los consumos puntuales o concentrados demandados con el fin de establecer los posibles grandes consumidores.

### 3.3.4 Uso Oficial

Este es el uso de agua potable destinado a entidades de carácter oficial, establecimientos públicos que no desarrollen actividades de tipo comercial o industrial. Incluye planteles educativos a todo nivel, hospitales, clínicas, centros de salud, ancianatos y orfanatos de carácter oficial.

### 3.3.5 Uso Especial

Este es el uso de agua potable destinado a entidades sin ánimo de lucro que reciban donación de entidades oficiales de cualquier orden o que estas últimas hayan participado en su constitución, las instituciones de beneficencia culturales y de servicios sociales. EPM expedirá una resolución interna en las

que clasificará los clientes pertenecientes a esta categoría de servicios.

### 3.4 DOTACIÓN NETA

La dotación neta se define como la cantidad mínima de agua para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de conducciones, en el sistema de distribución de agua potable, en los bombeos y en los tanques de almacenamiento y/o compensación.

La demanda de agua para el diseño de un proyecto específico, se debe calcular multiplicando el número de clientes proyectado por la dotación neta por cliente definida por EPM. En caso de que se tenga que hacer proyecciones de población, la demanda de agua se debe calcular multiplicando el número de habitantes proyectados por la dotación neta.

#### 3.4.1 Dotación neta mínima

Siempre que existan datos históricos confiables para la zona objeto del diseño del sistema de acueducto, la dotación neta para el diseño de un sistema nuevo o de una ampliación debe basarse en un análisis de los datos de medición. La dotación por cliente se debe estimar con base en el sector y el estrato socioeconómico.

En el caso de diseños de sistemas de acueducto nuevos o ampliación a sistemas existentes, se deben utilizar datos históricos de la zona del proyecto o de zonas del municipio de Medellín o demás municipios atendidos por EPM con las mismas características socioeconómicas de población, con el fin de definir la dotación neta mínima por cliente para dichas zonas. En caso de que no se cuente con datos históricos, datos promedio o mediciones de campo se deberá utilizar la dotación neta establecida por el RAS vigente.

#### 3.4.2 Estimación de la dotación neta por comparación con barrios, circuitos o municipios similares

En caso de que no existan datos históricos para la zona de los municipios atendidos por EPM para el diseño de un nuevo sistema o la ampliación del sistema de acueducto existente, los cálculos necesarios para estimar la dotación neta deben hacerse teniendo en cuenta los datos históricos en zonas similares de la ciudad. Se debe tener en cuenta los siguientes aspectos para seleccionar las poblaciones similares: estrato socioeconómico, actividad comercial, actividad industrial, tamaño de la población servida y condiciones de operación hidráulica. Las dotaciones históricas para el diseño, en todo caso, deben estar dadas por EPM.

### 3.5 PÉRDIDAS

#### 3.5.1 Pérdidas técnicas en la conducción y en los tanques de almacenamiento y/o compensación

Para propósitos de diseño de un sistema de conducción de agua tratada, desde las plantas de tratamiento hasta los tanques de almacenamiento y/o compensación, debe establecerse el nivel de pérdidas en las conducciones después de la planta de tratamiento y antes del comienzo de la red de distribución, incluyendo los reboses y posibles infiltraciones en los tanques de almacenamiento y/o compensación. Esta cantidad debe ser un porcentaje del caudal medio diario, el cual debe ser inferior al 2%.

#### 3.5.2 Pérdidas técnicas en la red de distribución

Las pérdidas técnicas en la red de distribución de agua potable aguas abajo de los tanques de almacenamiento y/o compensación, corresponden a las fugas de agua tanto detectables como no detectables. Las fugas detectables son aquellas que pueden ser detectadas ya sea por los clientes, como sería el caso del estallido de una tubería, o por EPM

haciendo uso de tecnologías tales como geofonía, radar de penetración de suelo, análisis de golpe de ariete y otras. Las fugas no detectables corresponden a goteos en los accesorios o en las acometidas domiciliarias; y a infiltraciones, donde la fuga no aflora a la superficie y su detección no es económicamente viable utilizando tecnologías avanzadas.

Para propósitos del cálculo de los caudales de diseño el porcentaje de pérdidas técnicas en la red de distribución debe ser el 15%.

### 3.5.3 Pérdidas técnicas

Por pérdidas técnicas se entiende la suma de las pérdidas técnicas en la red de distribución más las pérdidas técnicas en la conducción y en los tanques de almacenamiento y/o compensación, aplicando únicamente aquellas pertinentes a un diseño particular.

### 3.5.4 Pérdidas comerciales en la red de distribución

Son aquellas pérdidas relacionadas con el funcionamiento comercial y técnico de la empresa prestadora de servicio. Se incluyen dentro de estas pérdidas las conexiones fraudulentas, los clientes que se encuentren por fuera de las bases de datos de facturación de la empresa y los caudales dejados de medir por imprecisión o mala operación de los micromedidores.

Para propósitos de diseño de un nuevo sistema de acueducto o la parte nueva de uno existente, el porcentaje de pérdidas comerciales en la red de distribución debe tener como referencia un valor de 10%, el cual se obtiene de la suma del porcentaje de pérdidas de submedición (máximo del 5%), fraudes (máximo 3%) y de instalaciones cortadas por falta de pago (máximo 2%). Los anteriores valores deben ser tomados como una guía, pero el diseñador debe tener en cuenta las condiciones propias del sistema que está diseñando para la elección de estos porcentajes.

En el caso de que la demanda de agua se haya calculado con base en la proyección de clientes

de EPM, este porcentaje debe incluirse en el cálculo del caudal de diseño. En el caso de que dicha demanda se haya calculado con proyecciones de habitantes, las pérdidas comerciales no deben tenerse en cuenta para el cálculo de los caudales de diseño de los sistemas de acueducto, excepto en aquellos casos en los que se utilicen registros históricos de facturación para la dotación, en los cuales se debe utilizar un valor de pérdidas comerciales correspondiente a error por submedición del 5%.

## 3.6 DOTACIÓN BRUTA

La dotación bruta para el diseño de los elementos que conforman el sistema de acueducto de EPM debe calcularse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \% p}$	<b>Ecuación 3-1</b>
-----------------------------------------	---------------------

El porcentaje de pérdidas de la Ecuación 3-1 corresponde al porcentaje de pérdidas técnicas descrito en el Numeral 3.5.1 de esta norma cuando se trate de proyectos de conducciones y/o tanques de almacenamiento y/o compensación únicamente. En el caso de diseño de redes de distribución se debe utilizar el porcentaje de pérdidas definido en el Numeral 3.5.2 de esta norma.

El porcentaje de pérdidas de la Ecuación 3-1, debe incluir el porcentaje de pérdidas comerciales descrito en el Numeral 3.5.4, cuando el cálculo de la demanda se haga con base en proyección de clientes únicamente.

El diseño de sistemas de acueducto para EPM debe desagregar la dotación por diferentes usos y por zonas de los municipios atendidos por EPM de acuerdo con el Numeral 3.3 de esta norma.

### 3.7 DEMANDA DE AGUA

#### 3.7.1 Caudal Medio Diario

El Caudal Medio Diario,  $Q_{md}$ , es el caudal medio calculado para la población proyectada con sus ajustes teniendo en cuenta la dotación bruta calculada. Este caudal corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año, proyectado al horizonte de diseño, y debe calcularse mediante la siguiente ecuación:

$Q_{md} = \frac{p \cdot d_{bruta}}{30}$	<b>Ecuación 3-2</b>
-----------------------------------------	---------------------

En ésta última ecuación  $p$  representa en número de clientes proyectados, la dotación bruta está dada en  $m^3$ /cliente/mes y 30 representa el número de días en el mes. En caso de que la demanda se haya calculado haciendo uso de proyecciones de habitantes, el  $Q_{md}$  se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$Q_{md} = \frac{p \cdot d_{bruta}}{86400}$	<b>Ecuación 3-3</b>
--------------------------------------------	---------------------

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

#### 3.7.2 Caudal Máximo Diario

El Caudal Máximo Diario, QMD, corresponde al máximo caudal consumido, registrado en un período de 24 horas a lo largo de un año. Este debe calcularse multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario,  $k_1$ . El caudal máximo diario debe calcularse mediante la siguiente ecuación:

$QMD = Q_{md} \times k_1$	<b>Ecuación 3-4</b>
---------------------------	---------------------

#### 3.7.3 Caudal Máximo Horario

El Caudal Máximo Horario, QMH, corresponde al caudal de consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin

tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula haciendo uso de la curva de variación horaria dada por EPM; si no se cuenta con esta curva, el QMH se calcula como el Caudal Máximo Diario multiplicado por el Coeficiente de Caudal Máximo Horario,  $k_2$ , como se muestra en la siguiente ecuación:

$QMH = QMD \times k_2$	<b>Ecuación 3-5</b>
------------------------	---------------------

#### 3.7.4 Coeficiente de Caudal Máximo Diario $k_1$

El Coeficiente de Caudal Máximo Diario,  $k_1$ , se debe obtener de la relación entre el mayor caudal de consumo diario y el caudal de consumo medio diario, utilizando los datos registrados por Empresas Públicas de Medellín en un período de mínimo un año. Este coeficiente será suministrado al diseñador por parte de EPM.

En caso de que no existan datos suficientes para el cálculo del coeficiente, se deberá utilizar el valor del coeficiente definido en el RAS vigente.

#### 3.7.5 Coeficiente de Caudal Máximo Horario con relación al Caudal Máximo Diario $k_2$

El Coeficiente de Caudal Máximo Horario con relación al Caudal Máximo Diario,  $k_2$ , debe calcularse, para el caso de ampliaciones del sistema 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 ocurrieran fallas relevantes en el servicio o situaciones de emergencia. Este coeficiente será suministrado por EPM al diseñador.

En caso de que no existan datos suficientes o se trate de un proyecto nuevo, el coeficiente de Caudal Máximo Horario debe ser de 1.7.

#### 3.7.6 Gran Consumidor

De acuerdo con el Artículo 17 del Decreto 302 de 2000, Resolución No. 151-2001 de la Comisión de Regulación de Agua Potable y

Saneamiento Básico CRA, o la que la modifique se define como Gran Consumidor no residencial del servicio de acueducto, todo aquel cliente o suscriptor que durante seis meses continuos supere en consumo los 1000 m<sup>3</sup> mensuales.

### **3.7.7 Curva de demanda para los municipios atendidos por EPM**

El equipo de Proyectos de Distribución el cual pertenece al Área de Distribución o el equipo de Despacho de Acueducto, el cual pertenece al Área Operación Sistema Interconectado de EPM, suministrará la curva de demanda para los circuitos de acueducto dentro del cubrimiento del servicio de EPM. Se deben utilizar estas curvas de demanda para proyectos que involucren el sistema de acueducto.

## **3.8 CAUDAL DE INCENDIOS**

Un incendio es considerado una situación de emergencia. La demanda mínima contra incendios debe estimarse teniendo en cuenta

las siguientes especificaciones. Para municipios con más de 100.000 habitantes, para zonas residenciales densamente pobladas (150 habitantes por hectárea o mayor) o multifamiliares, comerciales e industriales de los municipios atendidos por EPM, un incendio debe ser servido por 4 hidrantes de uso simultáneo. Las zonas residenciales unifamiliares deben ser servidas por 2 hidrantes en uso simultáneo. En ambos casos la capacidad mínima de cada hidrante debe ser de 10 L/s.

Para las redes internas, el particular debe garantizar el abastecimiento de la red de incendio con un tanque interno u otro sistema, según normatividad nacional.

El análisis de los caudales de incendio se deberá hacer en los puntos críticos y desfavorables del sector hidráulico.

## Capítulo 4 CONDUCCIONES

Las líneas de conducción son aquellas destinadas al transporte del agua tratada desde las plantas de tratamiento de EPM hasta los tanques de almacenamiento y/o compensación, generalmente sin entrega de agua en ruta.

### 4.1 ALCANCE

En este Capítulo se establecen los criterios básicos, los aspectos específicos y los requisitos mínimos que debe cumplir el diseño de conducciones y líneas de impulsión dentro del sistema de acueducto de EPM, con el fin de garantizar la seguridad, la confiabilidad, la durabilidad, la funcionalidad, la calidad del agua, la eficiencia, la sostenibilidad y la redundancia del sistema. También se incluyen aquellos aspectos que desde el diseño tengan influencia sobre los procesos de construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de las conducciones.

La Tabla 4-1 muestra un esquema del contenido de este Capítulo:

**Tabla 4-1 Esquema del contenido del Capítulo 4 "Conducciones"**

Componente	Capítulo
Estudios Previos	4,2
Condiciones Generales	4,3
Parámetros de Diseño	4,4
Diseño de las Conducciones	4,5
Otras Consideraciones de Diseño	4,6
Referenciación de Componentes del Sistema de Conducciones	4,7
Aspectos de la Puesta en Marcha de la Conducción	4,8
Aspectos de la Operación de la Conducción	4,9
Aspectos del Mantenimiento de las Conducciones	4,10

## 4.2 ESTUDIOS PREVIOS

### 4.2.1 Concepción del proyecto

Durante la concepción del proyecto de diseño de las conducciones y sus variantes deben definirse los criterios técnicos y económicos que permitan comparar todas las alternativas posibles para la conducción a partir de los datos de campo, de los datos geológicos y de los datos de consumo de la población que será abastecida por el proyecto objeto del diseño.

Dependiendo de la topografía, la distancia y la diferencia de nivel entre los tanques de almacenamiento a la salida de las plantas de tratamiento y los tanques de almacenamiento y/o compensación, la conducción debe diseñarse como una tubería a presión, cumpliendo con todos los requisitos de resistencia para las presiones que se manejarán.

Las conducciones nuevas deben diseñarse, además, con todas las estructuras y facilidades necesarias para garantizar un lavado de la tubería durante su operación normal. 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.

### 4.2.2 Diagnóstico de la 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 conducción que se va a desarrollar, tales como calles, avenidas, puentes, vías de metro y ferrocarril, líneas de transmisión de energía eléctrica, sistemas de alcantarillado y cualquier otra obra de importancia. 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.

### 4.2.3 Estudio de la demanda

El diseñador debe conocer el estudio de la demanda de agua para las zonas de los municipios atendidos por EPM que van a abastecerse, o en su defecto debe realizar este estudio siguiendo lo establecido en el Capítulo 3 “Población, Dotación y Demanda” de esta norma.

### 4.2.4 Aspectos generales de la zona de la conducción

El diseñador debe conocer todos los aspectos generales de la zona por donde cruzará la conducción. En general deben conocerse los regímenes de propiedad y los usos generales de la zona objeto del diseño. Adicionalmente, el diseñador debe conocer los futuros proyectos de infraestructura, en particular en lo referente a la malla vial de los municipios atendidos por EPM. Dentro de los proyectos de infraestructura se deben incluir, entre otros, los sistemas de transporte masivo, las redes de servicios públicos domiciliarios, las redes de acueducto y/o alcantarillado y las redes de servicios de otros operadores.

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

También deben quedar plenamente establecidos en el diseño cuáles son los terrenos de propiedad del estado, el departamento o el municipio atendido u operado por EPM o qué predios o servidumbres deben adquirirse para nuevos trazados de conducciones. Con el fin de establecer concretamente los aspectos generales de la zona objeto del diseño de la conducción, o su ampliación, debe conocerse el levantamiento topográfico altimétrico y planimétrico de la zona del municipio, o de sus áreas de expansión.

### 4.2.5 Estudios topográficos

Para propósitos de diseño, el diseñador debe recopilar, entre otra, la siguiente información topográfica, cuando esté disponible:

1. Planos aerofotogramétricos de la zona del municipio donde va a diseñarse, construirse o ampliarse la conducción.
2. Planos de catastro de todas las obras de infraestructura existente de la zona del municipio objeto del diseño.
3. Fotografías aéreas existentes para la zona del municipio objeto del diseño, que incluyan claramente la zona donde va a diseñarse, construirse o ampliarse la conducción.
4. Los planos de catastro o inventario de las redes de las conducciones existentes que tengan relación con la conducción objeto del diseño. En particular debe tenerse en cuenta la localización de las redes de distribución y/o los tanques de almacenamiento y/o compensación desde los cuales serán alimentados por la conducción.
5. El levantamiento topográfico planimétrico de la zona del municipio objeto del diseño, o de sus áreas de expansión, en el sistema de información geográfica del SIGMA de EPM.

Para el diseño de las conducciones debe seguirse lo establecido en el manual de topografía de EPM, “Alcances del trabajo y especificaciones para los levantamientos o localizaciones de trabajo de topografía en la investigación para diseño de redes de acueducto y/o alcantarillado, conducciones, impulsiones y obras civiles (plantas de tratamiento, tanques, estaciones de bombeo, edificaciones, etc.)”. Se debe utilizar la versión del manual de junio de 2002, o aquella que la reemplace. En todos los casos se recomienda hacer amarres geodésicos en campo, con propósitos de verificación.

### 4.2.6 Condiciones geológicas

El diseñador debe conocer todas las condiciones geológicas y las características del subsuelo en las zonas de trazado de la conducción. 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 trazado que crucen zonas claramente identificadas como zonas de deslizamiento para las conducciones, a menos que se realicen los trabajos que garanticen la estabilidad de la tubería.

El diseñador debe conocer específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona por donde cruzará la conducción. En particular debe tenerse en cuenta lo establecido en la norma sismorresistente NSR-10, o aquella que la remplace, con respecto a los niveles de amenaza sísmica de las diferentes zonas del territorio de los municipios atendidos por EPM.

#### 4.2.7 Calidad de agua

Antes de proceder al desarrollo del diseño de una conducción nueva o una ampliación a una conducción existente, el diseñador debe conocer las características de calidad del agua y su evolución a partir de las plantas de tratamiento y hasta su llegada a los tanques de almacenamiento y/o compensación. Debe hacer uso de la información existente en EPM, y en caso de que se considere necesario o no exista información sobre calidad de agua, hacer uso de un programa de modelación de calidad de agua en la red.

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

El diseño de la conducción debe contemplar la necesidad del lavado de las tuberías con el fin de controlar las biopelículas y los depósitos inorgánicos de diferente origen que se depositan al interior de ésta. El diseñador debe conocer los cuerpos de drenaje urbano, tanto naturales como artificiales de la zona que va a ser cruzada por la conducción, con el fin de establecer su capacidad hidráulica y su factibilidad para ser utilizados como cuerpos receptores de las aguas de lavado.

#### 4.2.9 Estudio de suelos

Para el diseño de las conducciones se debe seguir lo establecido en “Aspectos Geotécnicos” del Título G del RAS vigente, o aquel que lo remplace. En todo caso se debe considerar el concepto 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.

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.

Las características agresivas de los suelos se pueden determinar con base en el contenido de aniones del mismo, cloruros, sulfatos y sulfuros, pH, potencial redox y resistividad. 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.

- a. Resistividad del suelo: 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 4-2 Clasificación de la agresividad del suelo según su resistividad**

Resistividad ( $\Omega$ -m)	Grado de agresividad
< 10	Severo
10 – 100	Discreto
100 – 1000	Escaso
> 1000	Nulo

**Tabla 4-3 Índice de corrosión según la resistividad del suelo**

Resistividad ( $\Omega$ -m)	Índice de corrosión
>500	+4
>200 to 500	+2
>50 to 200	0
>20 to 50	-2
10 to 20	-4
<10	-6

b. Acidez de los suelos: Los suelos muy ácidos (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 4-4 Índice de corrosión según la acidez del suelo**

pH	Índice de corrosión
> 9	2
> 5.5 a 9	0
4.0 a 5.5	-1
< 4.0	-3

c. Contenido de sulfuros, sulfatos y sales: La medida del Potencial Rédox efectuada con un electrodo de platino, permite establecer si un terreno está predispuesto al crecimiento de bacterias sulfatoreductoras y por lo tanto determina el índice de corrosión del suelo.

**Tabla 4-5 Índice de corrosión según el contenido de sulfuro del suelo**

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

**Tabla 4-6 Índice de corrosión según el contenido de sulfato del suelo**

Contenido de sulfato (mmol/Kg)	Índice de corrosión
< 2	0
2 a 5	-1
> 5 a 10	-2
> 10	-3

**Tabla 4-7 Índice de corrosión según el contenido de sales del suelo**

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

De acuerdo con las diferentes variables y valores límites para determinar la corrosión en el suelo se tiene el siguiente resultado:

**Tabla 4-8 Índice de corrosión según el contenido de sales del suelo**

Resultado total	Corrosión del suelo
> = 0	No corrosivo
-1 a -4	Poco corrosivo
-5 a -10	Corrosivo
< -10	Altamente corrosivo

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 noviembre 17 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico, en su artículo 192, "Consideraciones sísmicas de los diseños geotécnicos". 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 la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR-10, 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 diseño debe recopilar la información sobre sondeos eventualmente existente en EPM, que hayan sido hechos para el desarrollo o construcción de otras obras en el perímetro urbano de la ciudad de Medellín o de los municipios atendidos por EPM.

#### 4.2.10 Interferencia con otras redes y corrientes eléctricas

Cuando el trazado de la línea de conducción cruce o esté cerca redes eléctricas, líneas del metro y líneas de alta transmisión, el diseñador debe estudiar 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 inducido por corrientes eléctricas. En todo caso se debe seguir lo establecido en el Numeral 4.4.6 y en el Numeral 4.5.6 sobre los materiales y protección adecuada para las tuberías, en aquellos casos donde se presenten interferencias con corrientes eléctricas y/o el trazado de la conducción cruce redes de gas o redes de alcantarillado.

#### 4.2.11 Aspectos ambientales

Durante la etapa de Planeación y Diseño, se debe realizar el trámite de las licencias y permisos necesarios y requeridos por la correspondiente Autoridad Ambiental para llevar a cabo la ejecución de las obras de redes de conducción; los impactos y las medidas de mitigación mínimas a tener en cuenta son:

- a. Evitar la alteración de la calidad de los cuerpos de agua, diseñando desvíos oportunos, pasos elevados o viaductos sobre estas fuentes, dependiendo de su tamaño.
- b. El ruido producido por los equipos y maquinaria recomendada debe ser atenuado, sobretudo en las zonas urbanas. Evitar, en lo posible, no planear actividades de trabajo nocturno en zonas urbanas.

### 4.3 CONDICIONES GENERALES

Para la concepción, el diseño, la construcción, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de las conducciones deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones generales:

### 4.3.1 Recomendaciones de trazado

#### 4.3.1.1 Recomendaciones generales

Hasta donde sea posible el diseño de la conducción debe tener como objetivo el que ésta se instale 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 hacer, 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. Desde la etapa de diseño, mínimo debe elaborarse un contrato de promesa de compraventa para la servidumbre, la cual debe estar constituida antes del inicio de la construcción del proyecto.
2. En caso de que se considere necesario, deben estudiarse alternativas que no sigan las vías públicas, para que el trazado no cruce hondonadas o puntos muy altos pronunciados, 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 conducción, o comparar con trazados posibles en túnel, deben estudiarse alternativas al trazado. Esto también debe hacerse en caso de 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 asegurarse que los pasos no se encuentren restringidos o cerrados para las labores de mantenimiento.
5. En caso de 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 hacerse desde uno de los lados de la vía.

6. Los cruces de las redes de acueducto con canalizaciones, quebradas, estructuras, vías férreas, vías del metro 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.

#### 4.3.1.2 Recomendaciones específicas

1. El trazado de la línea debe ser lo más directo posible entre las plantas de tratamiento y los tanques de almacenamiento y/o compensación.
2. El trazado definitivo debe garantizar que la línea piezométrica en todo punto de la conducción 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.
3. Deben evitarse los trazados que impliquen presiones excesivas que puedan llegar a afectar la seguridad de la conducción. En caso contrario, el diseño debe prever que el tipo de tubería utilizado pueda soportar dichas presiones con los factores de seguridad correspondientes.
4. El trazado debe evitar tramos con pendientes y contra pendientes que puedan causar bloqueos por aire en la línea de conducción. En caso contrario debe incluir el diseño de las ventosas correspondientes.
5. El trazado definitivo debe evitar, hasta donde sea posible, zonas con alto riesgo de inundación o de deslizamiento.
6. En caso de 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.

7. 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.

#### 4.3.2 Tipos de conducción

Todas las conducciones deben diseñarse como flujo cerrado y a presión. Las conducciones podrán ser por gravedad o por bombeo, conformando, en este último caso, una línea de impulsión hasta los tanques de almacenamiento y/o compensación.

#### 4.3.3 Facilidad de acceso a cajas de válvulas y accesorios

En todos los casos, los conductos que conformen la conducción deben tener facilidad de acceso para los equipos de mantenimiento de EPM, a lo largo de todo su trazado. En caso de que alguna de las estructuras de la línea de conducción, tales como válvulas de control, válvulas de quiebre o reducción de presión, etc., quede localizada por debajo de una vía de alto tráfico, el acceso para la operación y mantenimiento de estas estructuras debe hacerse desde el lado de la vía.

#### 4.3.4 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 conducción. En general, los conductos a presión son poco vulnerables a la contaminación que se encuentra en los suelos que rodean la tubería desde la planta de tratamiento hasta los tanques de almacenamiento y/o compensación.

En caso de que la línea de conducción cruce terrenos que pudiesen causar contaminación del agua tratada, la tubería debe protegerse en su exterior según lo indicado en el Numeral 4.5.6 de esta norma, para evitar posibles problemas de infiltración hacia la tubería, ya sea por corrosión o por permeabilidad de la pared a ciertos contaminantes.

#### 4.3.5 Vulnerabilidad y confiabilidad de la línea de conducción

La conducción es vulnerable a la deformación del suelo causada por problemas geotécnicos, geológicos y/o topográficos. El diseño debe establecer el nivel de vulnerabilidad, con el fin de establecer la necesidad o no de hacer redundante la conducción objeto del diseño. En caso de que se considere que la conducción es altamente vulnerable, el abastecimiento de agua debe ser redundante a través de las otras tuberías existentes en la red de conducciones, las cuales deben tener capacidad de mover los caudales requeridos bajo las condiciones de emergencia resultantes de la posible falla. En caso de que no sea posible contar con la redundancia en la conducción (cuando no forme parte de una red interconectada), 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 6 horas.

Con el fin de establecer la vulnerabilidad de las tuberías de la conducción se debe seguir lo establecido en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9 Materiales de tuberías para la conducción de agua, normas aplicables y su vulnerabilidad frente a la deformación del suelo<sup>2</sup>

<b>TIPO DE MATERIAL Y DIÁMETRO</b>	<b>NORMA AWWA</b>	<b>TIPO DE UNIÓN</b>
<b>Vulnerabilidad baja</b>	<b>Vulnerabilidad baja</b>	<b>Vulnerabilidad baja</b>
Hierro dúctil	Series C1xx*	Campana y espiga con empaque de caucho, fija
Polietileno	C906	Fundida
Acero	Series C2xx	Soldada con arco voltaico
Acero	Sin designación	Remachada
Acero	Series C2xx	Campana y espiga con empaque de caucho, fija
<b>Vulnerabilidad baja a media</b>	<b>Vulnerabilidad baja a media</b>	<b>Vulnerabilidad baja a media</b>
Cilindro de concreto	C300, C303	Campana y espiga, fija
Hierro dúctil	Series C1xx*	Campana y espiga con empaque de caucho, suelta
<b>Vulnerabilidad media</b>	<b>Vulnerabilidad media</b>	<b>Vulnerabilidad media</b>
Acero	Series C2xx	Campana y espiga con empaque de caucho, suelta
<b>Vulnerabilidad media a alta</b>	<b>Vulnerabilidad media a alta</b>	<b>Vulnerabilidad media a alta</b>
Cilindro de concreto	C300, C303	Campana y espiga, suelta
Acero	Sin designación	Soldada con gas
<b>Vulnerabilidad alta</b>	<b>Vulnerabilidad alta</b>	<b>Vulnerabilidad alta</b>
Hierro fundido	Sin designación	Campana y espiga, 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)		

<sup>2</sup> Adaptado de la página de Internet: [http://www.crid.or.cr/crid/CD\\_Agua/pdf/spa/doc14589/doc14589-3d.pdf](http://www.crid.or.cr/crid/CD_Agua/pdf/spa/doc14589/doc14589-3d.pdf)

La conducción también es vulnerable a la conexión fraudulenta de clientes. En ningún caso se pueden permitir estas conexiones a la red de conducciones del sistema de acueducto. El diseñador debe identificar aquellas zonas en las cuales se considere que existe una alta vulnerabilidad a este tipo de conexiones y plantear posibles soluciones entre las que se encuentran la profundización de las tuberías, el uso de materiales especiales, etc.

Adicionalmente, el diseño de las líneas de conducción debe contemplar el análisis de la vulnerabilidad de las tuberías frente a fenómenos de corrosión.

#### **4.3.6 Control de crecimiento y desprendimiento de biopelículas**

Con el fin de evitar eventos de deterioro de la calidad de agua en el sistema de acueducto, el diseño debe contemplar un control del crecimiento y desprendimiento de películas biológicas estableciendo una velocidad mínima de operación para las líneas de conducción. Esta velocidad debe corresponder a las condiciones de operación hidráulica de caudal de diseño en el momento de entrada en operación de la conducción.

#### **4.3.7 Lavado para remoción de biopelículas**

El diseño debe garantizar la realización de un lavado unidireccional de las tuberías, el cual se caracteriza por:

1. Remover las biopelículas debido a las velocidades de flujo que maneja
2. Generar un alto esfuerzo cortante
3. Poner en movimiento los depósitos de material inorgánico al interior de la tubería.

Este lavado unidireccional debe permitir la remoción de las arenas en los sifones invertidos y desprender las biopelículas y los depósitos inorgánicos depositados al interior de la tubería. En caso de que se opte por esta solución, con aprobación de EPM, el diseño debe contemplar la instalación de una estación

de vaciado de la tubería compuesta por una válvula especial o una válvula acompañada con su estructura de disipación de energía y su canal para conducir el agua descargada hacia el cuerpo receptor, como se establece en el Numeral 4.5.11.

#### **4.3.8 Retiros (anchos de servidumbres)**

El ancho de las servidumbres debe ser el mínimo que permita en forma cómoda realizar las tareas de inspección y mantenimiento de la línea de conducción así como garantizar la seguridad de la infraestructura de las redes de conducción y de las construcciones aledañas. El ancho de servidumbre depende del diámetro de la tubería, de las condiciones de instalación (expuesta o enterrada), de la facilidad de acceso, de la pendiente, de la circulación del tráfico en la vía y del espacio para maniobras de los equipos, de la presión de servicio, de las condiciones geotécnicas. El diseño también debe incluir las labores de mantenimiento que se deben hacer a estas servidumbres de acuerdo con sus condiciones y con el tipo de intervenciones que se pueden hacer en ellas. Sin embargo, el ancho mínimo de la servidumbre no debe ser inferior a 4 m (2 m a cada lado del eje de la tubería).

### **4.4 PARÁMETROS DE DISEÑO**

#### **4.4.1 Período de diseño**

El período de diseño de las conducciones es de 30 años. En aquellos casos en los cuales el análisis de costo mínimo sugiera un desarrollo por etapas, éstas deben diseñarse teniendo en cuenta dicho período de diseño.

#### **4.4.2 Caudal de diseño**

El caudal de diseño para las conducciones, o ampliaciones de ésta, corresponde al Caudal Máximo Diario QMD definido en el Numeral 3.7.2 de esta norma, más las pérdidas en la conducción y las pérdidas en los tanques de almacenamiento y/o compensación.

#### 4.4.3 Pérdidas de agua en conducciones

Para propósitos de diseño, el caudal de diseño en las tuberías de conducción, se debe aumentar en un 2% con el fin de tener en cuenta las posibles pérdidas de agua a lo largo de las líneas de conducción y las infiltraciones en los tanques de almacenamiento y/o compensación. Este 2% es un porcentaje adicional a las pérdidas que se presentan en la red de distribución.

#### 4.4.4 Calidad de agua en la red de conducción

En la etapa de diseño de conducciones para los municipios atendidos por EPM, es necesario conocer la calidad de agua en cada uno de los nudos de la red, para asegurar que el agua distribuida cumple, en toda la red de conducciones, con la calidad de agua estipulada en el Decreto 1575 de 2007 o aquel que lo reemplace.

Con el fin de realizar los cálculos de calidad de agua a lo largo de todo el sistema de conducciones de EPM, se deben utilizar los siguientes coeficientes de decaimiento:

Tabla 4-10 Coeficientes de decaimiento

Ubicación	$K_b$
Planta Ayurá	0,0398
Planta Villa Hermosa	0,0420
Planta Manantiales	0,0108
Material	$K_w$
Tubería de acero	-0,05
Tuberías asbesto cemento	-0,05
Tubería CCP	-0,0515
Tubería PVC	-0,05
Tubería hierro dúctil	-0,01
Tubería fibra de vidrio	-0,05

La actualización de los valores establecidos en la Tabla 4-10 será responsabilidad de EPM, que debe publicar los nuevos valores en forma tal que estén disponibles para los diseñadores.

#### 4.4.5 Requisitos de tuberías

Las tuberías de conducción deben cumplir 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.
2. Las tuberías formadas por segmentos rectos pueden colocarse en curva, si es necesario, mediante la deflexión de las tuberías en sus juntas, si éstas son del tipo flexible. Sin embargo, si el trazado de la línea de conducción implica una vulnerabilidad alta de acuerdo con lo definido en el Numeral 4.3.5 de esta norma, o cruza suelos con problemas de estabilidad, no se recomienda deflectar las tuberías en las uniones mecánicas con el fin de mantener su flexibilidad y dar seguridad a la conducción. En el caso de juntas flexibles, la deflexión máxima posible en cada junta, con excepción de juntas con características especiales, será la indicada por el fabricante de la tubería pero nunca podrá ser superior a los valores dados en la Tabla 4-11. Igualmente, se recomienda que el fabricante especifique el coeficiente de pérdidas menores correspondiente a las juntas flectadas, como función del ángulo de deflexión.

Tabla 4-11 Deflexiones máximas en tuberías (Tomada del Título B del RAS 2000)

Diámetro tubo (mm)	Deflexiones
100 o menores	3° 0´
150	3° 0´
200	3° 0´
250	3° 0´
300	3° 0´
400	2° 40´
450	2° 25´
500	2° 10´
600	1° 45´
750	1° 25´

Diámetro tubo (mm)	Deflexiones
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 de que las primeras no existan.

En las tuberías de conducción que operen por bombeo se deben tener en cuenta adicionalmente los siguientes requisitos:

1. No pueden intersectar en ningún momento, ni para ningún caudal, la línea piezométrica en sus condiciones normales de operación.
2. Cuando las condiciones topográficas del trazado de la línea de conducción impliquen una inflexión en la línea piezométrica, el flujo debe hacerse por gravedad a partir de este punto de inflexión.
3. 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 instalarse un tanque para el quiebre de la presión; este tanque debe tener un vertedero y un conducto para el agua vertida, dimensionados para el QMD de la conducción.
4. Cuando las condiciones topográficas del trazado de la tubería presenten una aproximación entre la tubería y la línea piezométrica, el flujo debe hacerse por gravedad a partir del punto de mínima presión.

#### 4.4.6 Materiales para las tuberías de conducción

En relación con las características de los diferentes materiales que pueden conformar las tuberías de conducción, se debe cumplir con las “Normas y Especificaciones Generales de Construcción de Redes de Servicio” de EPM en

su Capítulo 7, “Redes de Distribución, Acometidas y Conducciones de Acueductos”. Adicionalmente se debe cumplir con todas las especificaciones técnicas establecidas en las Normas Técnicas Colombianas correspondientes, o en caso de que éstas no existan, de las normas internacionales AWWA, ISO, ASTM o BEN, entre otras, con previa autorización de EPM.

Para la selección de los materiales de las tuberías deben tenerse en cuenta, durante el proceso de diseño de las conducciones, los siguientes factores:

1. La resistencia contra la corrosión, la agresividad del suelo y la corrosión electrolítica ocasionada por posibles corrientes parásitas. En particular, las tuberías deben tener protección contra la corrosión, siguiendo lo establecido en los numerales 4.5.5 y 4.5.6 de la presente norma.
2. La resistencia contra la tuberculización e incrustación en la pared interna de las tuberías.
3. La resistencia a los esfuerzos mecánicos producidos por las cargas tanto internas como externas.
4. La facilidad de desprendimiento de biopelículas y depósitos inorgánicos.
5. El tipo de uniones y la necesidad de anclaje de las tuberías.
6. Las características de comportamiento hidráulico del proyecto objeto del diseño, incluyendo las presiones de trabajo máximas y mínimas, y las sobrepresiones y subpresiones causadas por golpe de ariete.
7. Las condiciones económicas del proyecto.
8. La vida útil de las tuberías.
9. Para las tuberías metálicas de diámetros nominales mayores o iguales a 100 mm, se debe utilizar un recubrimiento interno de mortero de cemento.
10. El material de las tuberías debe elegirse teniendo en cuenta que las características de éste satisfaga las necesidades del proyecto, considerando

no solamente uno o dos de los puntos anteriormente indicados, sino examinándolos en conjunto y con los costos de inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto, así como la seguridad y la vulnerabilidad de la tubería.

El diseñador debe conocer las características que presentan los distintos materiales disponibles para conductos a presión típicos del sistema de conducciones de EPM. En este aspecto, se podrán utilizar tuberías de materiales comerciales siempre y cuando se

conozcan las características técnicas de cada material y se cumplan con las normas técnicas nacionales o internacionales especificadas en las NEGC de cada material.

La Tabla 4-12 puede utilizarse como guía en el estudio de los diferentes materiales posibles. Sin embargo, pueden utilizarse materiales no incluidos en la tabla siempre y cuando se cumplan con las especificaciones de las Normas Técnicas Colombianas correspondientes, o en caso de que éstas no existan, de las normas internacionales AWWA, ISO, ASTM, o DIN, previa aprobación de EPM.

**Tabla 4-12 Características de las tuberías para conductos a presión (Adaptación del Título B del RAS 2000)**

Material	Diámetros comerciales	Características
Concreto reforzado con o sin cilindro de acero (CCP)	250 a 1500 mm (10 a 60 pulgadas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En suelos ácidos (pH inferior a 4) necesita revestimiento epóxico externo.</li> <li>• Muy resistente a cargas externas, a presión interna y a golpe de ariete.</li> <li>• Pesada</li> <li>• Buena estabilidad estructural</li> <li>• Diseño estructural acorde con la presión requerida</li> </ul>
Hierro dúctil HD	100 a 600 mm (4 a 24 pulgadas) o más a pedido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy buena resistencia a la corrosión cuando está revestida con mortero.</li> <li>• Buena resistencia a carga exterior</li> <li>• Medianamente liviana</li> <li>• Medianamente dúctil</li> <li>• Facilidad de montaje</li> <li>• Poca elasticidad (pero mayor que el Hierro Fundido)</li> <li>• Sujeta a corrosión electrolytica cuando no está revestida externamente.</li> <li>• No hay forma de dar continuidad eléctrica para protección catódica.</li> <li>• Está sujeta a la tuberculización cuando no está revestida internamente.</li> <li>• Los accesorios son revestidos con pintura</li> </ul>
Polietileno de alta densidad (PEAD)	20 mm a 1200 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inerte a la corrosión</li> <li>• Liviana y de fácil manejo</li> <li>• Buena resistencia a cargas externas</li> <li>• Altas temperaturas de trabajo</li> <li>• Flexibles</li> <li>• Fácil de perforar para incorporar acometidas</li> <li>• Bajo uso de accesorios</li> <li>• Uniones termo-fusionadas o electro-fusionadas.</li> </ul>

El diseño debe tener en cuenta las siguientes consideraciones adicionales con respecto a los materiales de las tuberías de conducción:

1. Se recomienda que las variantes que se construyan a partir de una tubería de

conducción sean del mismo material de ésta, evitando la mezcla de materiales.

2. Todo diseño de una conducción nueva debe incluir un solo tipo de tubería, evitando la mezcla de materiales. En el caso de cruces de quebradas, se podrán utilizar otros materiales, con la aprobación previa de EPM. Las tuberías de repuesto para la conducción que se soliciten como parte del proyecto objeto del diseño, deben corresponder a las tuberías de máxima presión de dicho proyecto nuevo.

#### 4.4.7 Especificaciones y control de calidad de tuberías para conducciones

En relación con las especificaciones técnicas de las tuberías que conforman el diseño de la línea de conducción y de sus accesorios, debe cumplirse con los requisitos establecidos en las NEGC correspondiente y en las Normas Técnicas Colombianas, normas AWWA, ASTM, DIN, ISO u otras normas técnicas equivalentes, previamente aprobadas por EPM. Algunas se encuentran en la Tabla 4-13.

Tabla 4-13 Ensayos de control de calidad y normas técnicas sobre tuberías (Adaptada del Título B del RAS 2000)

<i>Ensayos por material</i>	<i>Normas Técnicas NTC</i>	<i>Otras Normas</i>
<b>TUBERÍAS DE ACERO</b>		
Prueba hidrostática de tubo recto		AWWA C200
Propiedades físicas		ASTM A370
Propiedades químicas		ASTM A751
<b>TUBERÍAS DE CCP</b>		
Propiedades		AWWA C 300 AWWA C 301 AWWA C 302 AWWA C 303 AWWA C 304
<b>TUBERÍAS DE PVC</b>		
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
Prueba hidrostática	NTC 3257	ASTM D 2837
<b>TUBERÍAS DE GRP</b>		

<b>Ensayos por material</b>	<b>Normas Técnicas NTC</b>	<b>Otras Normas</b>
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
Estanqueidad de juntas		ASTM D 4161
<b>TUBERÍAS DE POLIETILENO</b>		
Dimensiones y tolerancias	NTC 3358	ASTM D 2122
Contenido negro de humo	NTC 664	ASTM D 4218 ANSI/ASTM D1603
Presión de rotura	NTC 3257	ASTM D 1598 ASTM D 1599
Prueba de presión sostenida a elevada temperatura	NTC 1747	AWWA C 901
Tiempo de falla a presión constante	NTC 3578	ASTM D 1598
Esfuerzo de anillos a tensión		ASTM D 2290
Densidad		ASTM D 2839 - ASTM D 1505
Índice de fluencia		ASTM D 1238
Prueba de flexión		AWWA C 906-90
Agrietamiento ambiental	NTC 1602 <sup>†</sup>	
<b>TUBERÍAS DE HIERRO DÚCTIL</b>		
Acoples y accesorios	NTC 2587	

<sup>†</sup> Sólo para Polietileno clase 40

Los proveedores de tuberías deben presentar la certificación de control de calidad otorgado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), así como la certificación de su utilización en trabajos exitosos de importancia realizados en el pasado ya sea en Colombia o en el exterior.

#### 4.4.8 Presiones en la red de conducciones

Para Conducciones la presión interna de diseño de las tuberías que conforman las 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 Numeral 4.5.9 de estas normas,

multiplicado por un factor de seguridad, de acuerdo con la Ecuación 4-1 y Ecuación 4-2:

$p_{\max} = \max(p_{\text{estática}}, p_{\text{transiente}})$	<b>Ecuación 4-1</b>
---------------------------------------------------------------	---------------------

$p_{\text{diseño}} = k \cdot p_{\max}$	<b>Ecuación 4-2A</b>
----------------------------------------	----------------------

donde

- $p_{max}$  = Presión máxima entre la presión estática y la presión transiente (m.c.a)
- $p_{estática}$  = Presión estática (m.c.a)
- $p_{transiente}$  = Presión causada por fenómenos transientes (m.c.a)
- $p_{diseño}$  = Presión de diseño (m.c.a)
- $k$  = Factor de seguridad (igual a 1.1 para conducciones por gravedad)

Para impulsiones o conducciones por bombeo, la presión interna de diseño de las tuberías que conforman las impulsiones debe calcularse con la MÁXIMA presión dinámica multiplicada por un factor de seguridad que involucre el transitorio y que deberá ser 1.35, de acuerdo con la ecuación 4-2B. Deberá además presentarse el análisis para golpe de ariete.

$p_{diseño} = k \cdot p_{dinámica_{max}}$	<b>Ecuación 4-3B</b>
-------------------------------------------	----------------------

Donde:

- $p_{dinámica_{máx}}$  = Presión dinámica máxima es la Presión estática (m.c.a), más las pérdidas en la tubería, calculadas con el caudal suministrado por todos los grupos motor bomba funcionando
- $p_{diseño}$  = Presión de diseño (m.c.a)
- $k$  = Factor de seguridad que involucra el transitorio (1.35 a 1.4 para impulsiones o 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 las Ecuación 4-2A y Ecuación 4-3B. El diseño estructural de las tuberías siempre debe realizarse teniendo en cuenta el Numeral "Aspectos Estructurales" del Título G del RAS vigente.

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 de que en alguno de los trazados de 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 de por lo menos 14.0 m sobre la clave de la tubería para la condición más crítica de operación hidráulica.

#### 4.4.9 Diámetros de tuberías en la red de conducciones

Para la selección del diámetro de las tuberías de la conducción deben tenerse en cuenta las presiones de trabajo máximas y mínimas, las velocidades del flujo máximas y mínimas, y las longitudes de cada tramo de la conducción. La elección de cada diámetro debe estar basada en una optimización de costos, tal como se explica en el Numeral 4.4.15.

Para el cálculo de los diámetros se deben emplear las ecuaciones de Darcy-Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White, establecidas en el Numeral 4.5.3.1 de esta norma. Alternativamente se puede utilizar la fórmula de Hazen-Williams.

Si la conducción está conformada por una línea de impulsión de bombeo, se debe utilizar la Ecuación 4-4 para predefinir el diámetro más económico.

$De = K(XQ)^{1/2}$ $X = (t / 24)^{1/2}$	<b>Ecuación 4-4</b>
--------------------------------------------	---------------------

donde

$t$  Es el número de horas de bombeo por día (horas)

$Q$  Es el caudal de bombeo ( $m^3/s$ )

$De$  Es el diámetro interior (m)

$K$  Es un coeficiente que varía entre 1.2 y 1.6.

Este último coeficiente es función del costo de la tubería y el costo del kilovatio hora de energía eléctrica. EPM deben establecer para cada caso particular cuál es el valor de este coeficiente que debe ser utilizado para un prediseño particular. 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 aguas abajo de la bomba

#### **4.4.10 Velocidades en las tuberías de conducción**

Teniendo en cuenta que el agua que fluye a través de las tuberías de conducción puede contener materiales sólidos en suspensión o materiales disueltos que pueden precipitarse, ambos productos de los procesos de la planta de tratamiento de agua potable o de procesos físicos y químicos en las paredes internas de la tubería, debe adoptarse una velocidad mínima de operación para estas. Se recomienda una velocidad mínima de 1.0 m/s aunque este valor dependerá de las características de autolimpieza, de la calidad de agua y de la magnitud de los fenómenos hidráulicos que ocurran en la tubería.

Con respecto a la velocidad máxima, en general ésta no debe limitarse en las tuberías de conducción. El límite de la velocidad estará dado por las fuerzas de arrastre ocasionadas por los esfuerzos cortantes internos de la tubería y por consiguiente de los anclajes que ésta requiera. Se recomienda una velocidad máxima de 5 m/s para conducciones y de 3 m/s para tuberías de impulsión o conducciones por bombeo.

#### **4.4.11 Velocidades para control de biopelículas**

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.

#### **4.4.12 Velocidades para remoción de biopelículas**

Con el fin de desprender películas biológicas y depósitos inorgánicos dentro de las tuberías de conducción, se debe garantizar una velocidad de lavado de las tuberías que no sea inferior a 3.6 m/s y que no supere la velocidad máxima definida por los fabricantes de acuerdo con el material. 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 conducción del agua de lavado hacia los cuerpos receptores. El diseño debe incluir estos elementos y todos los cálculos necesarios que permitan evaluar el comportamiento de la tubería operando a esta velocidad.

#### **4.4.13 Pendientes de las tuberías de conducción**

Con el objetivo de permitir la acumulación de aire en los puntos altos de las tuberías y su correspondiente eliminación a través de válvulas de ventosa colocadas para este efecto y con el fin de facilitar el arrastre de posibles depósitos hacia los puntos bajos y acelerar el

desagüe de las tuberías, estas no deben colocarse en forma horizontal.

Las pendientes mínimas recomendadas son las siguientes:

1. Cuando el aire acumulado tiende a circular en el sentido del flujo de agua, la pendiente mínima debe ser 0.04%.
2. Cuando el aire fluye en el sentido contrario al flujo de agua la pendiente mínima debe estar entre 0.1 y 0.15%.

En este último caso, la pendiente no podrá ser menor que la pendiente de la línea piezométrica en ese tramo de la conducción. Cuando sea necesario hacer más uniforme la pendiente de todos los tramos de la conducción, a costa de una mayor excavación y con el fin de evitar un gran número de ventosas y de cámaras de limpieza, debe realizarse una comparación económica entre dos opciones: una mayor excavación versus un mayor número de accesorios.

#### 4.4.14 Profundidad de instalación de las tuberías a cota clave

Con respecto a la profundidad de instalación de las tuberías objeto del diseño de la línea de conducción, debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. En todos los casos la profundidad mínima para el tendido de la línea de conducción debe ser por lo menos 1 m medidos desde la superficie del terreno hasta la corona de la tubería. A profundidades menores, se deberán diseñar sistemas de protección debidamente justificados y aprobados por EPM, con el fin de disminuir dicho valor de profundidad.
2. En cruces con vías de alto tráfico la profundidad mínima debe ser de 1.2 m, líneas de ferrocarril, líneas del metro, deberá tenerse en cuenta la normatividad y aprobación de la autoridad competente, con excepción de aquellos casos en que sean diseñados sistemas de protección debidamente justificados y aprobados por

EPM, con el fin de disminuir dicho valor de profundidad.

3. En caso de que la línea de conducción cruce por terrenos rocosos e inestables, deben tomarse las medidas de protección necesarias establecidas en el Numeral 4.5.6, tales como revestimientos en concreto, anclajes en concreto reforzado, etc.
4. En caso de que sea necesario tender la tubería en zonas con altas pendientes, podrán utilizarse tendidos superficiales siempre y cuando se tengan en cuenta todos los apoyos y anclajes antideslizantes. Similarmente, desde el período de diseño se deben tener en cuenta todas las medidas para garantizar la seguridad de la línea de conducción.
5. En caso de que por causa de la naturaleza del terreno o por otras razones sea necesario colocar la tubería de conducción a una profundidad inferior a 0.8 m., el diseño debe prever los elementos de protección que aseguren que la misma no estará sometida a deformaciones que puedan causar roturas o afectar el funcionamiento hidráulico normal de la línea de conducción.
6. En caso de que la línea de conducción se vea sometida a algún tipo de sumergencia temporal, el diseñador 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.
7. En todos los casos debe verificarse que la línea piezométrica quede ubicada en las condiciones más desfavorables de los caudales previstos, por lo menos 14 m por encima de la cota clave de la tubería.
8. En caso de que se utilicen tuberías plásticas sensibles a la luz ultravioleta, estas deben necesariamente estar enterradas, o en su defecto protegidas de los rayos ultravioleta con pintura color aluminio o blanco.

9. Todos los pasos sobre quebradas, ríos, canales, depresiones u otras estructuras deben, en lo posible, estar enterrados 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 conducción. En estos casos se deben una boca de inspección, ya bien sea antes o después del cruce.

#### 4.4.15 Generación de alternativas

Siempre que se diseña una red de tuberías, existe una gran cantidad de combinaciones de diámetro para 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 nudos. Por consiguiente, el diseño de la red de conducciones debe buscar la alternativa óptima económica de combinación de los diferentes diámetros que cumplan con todas las restricciones hidráulicas.

El diseño debe hacerse para todos los materiales establecidos en el Numeral 4.4.6 de la presente norma que cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto y el cálculo del diámetro de cada alternativa debe seguir lo establecido en el Numeral 4.5.3.

Las alternativas deben basarse en criterios hidráulicos y 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. 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.

## 4.5 DISEÑO DE LAS CONDUCCIONES

### 4.5.1 Diseño hidráulico de conducciones en redes

El diseño hidráulico de una conducción nueva o la ampliación a una conducción existente incluye no solamente el cálculo del diámetro de la tubería, sino también un análisis hidráulico de su interacción con la red de conducciones existente; por consiguiente, el diseño hidráulico de la conducción 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 nudos 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 hacerse 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 conducción que simule todas condiciones operacionales 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 la línea.
2. El análisis hidráulico 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 emergencias, incluyendo el posible estallido de la tubería.

#### 4.5.2 Modelo hidráulico de la red y estructuración

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. En particular el modelo hidráulico debe permitir establecer reglas de operación del sistema de conducciones de EPM, bajo condiciones normales de operación o bajo condiciones especiales de mantenimiento y/o emergencia. El modelo matemático debe montarse 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. El modelo hidráulico 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. El programa también debe tener 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. El programa también debe tener 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 2007 de los Ministerios de Vivienda y Medio Ambiente y de Salud y Protección Social, o aquel que lo reemplace.
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 los Numerales 4.5.3.1, 4.5.3.2 y 4.5.3.3 de esta norma.
5. El programa utilizado para el cálculo de la hidráulica de la red de conducciones debe poder comunicarse con otros programas utilizados por EPM. En particular, el programa de cálculo hidráulico debe poder comunicarse con el sistema de información geográfica establecido por el SIGMA de EPM. Adicionalmente, debe tener la posibilidad de comunicarse con las bases de datos utilizadas por la empresa así como con otros programas comerciales para el cálculo de la hidráulica de redes de conducción.
6. En el caso de ampliaciones o extensiones a redes de conducciones 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 conducción debe contar con rutinas de calibración de redes existentes, con el fin de obtener los diámetros reales internos, los coeficientes de pérdidas menores y las rugosidades absolutas de las tuberías. Desde el proceso de diseño, debe quedar establecida 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 conducción. El modelo hidráulico adoptado para simular la red de conducciones debe contar con una rutina automática de calibración.

Los datos que alimentan el modelo hidráulico de la red de conducciones deben incluir entre otros los siguientes:

1. Datos de catastro de la red de conducciones de EPM.
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 de agua. Cuando se cuente con estos datos.

### 4.5.3 Cálculo hidráulico de tuberías simples

Para el diseño de las líneas de conducción debe efectuarse el estudio hidráulico del flujo a través de la tubería de conducción con el fin de determinar las presiones en cada punto de la tubería. 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 debe utilizarse la ecuación de Darcy-Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White. También puede utilizarse la ecuación de Hazen-Williams, con la debida consideración de los rangos de validez y la exactitud, especialmente en lo referente a los límites de diámetros y de número de Reynolds según se describe en el Numeral 4.5.3.3. 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.

### 4.5.3.1 Cálculo de las pérdidas por fricción

En cálculo de las pérdidas de energía debidas a la fricción en una tubería o conducto cilíndrico largo, con un interior de diámetro continuo, debe hacerse mediante el uso de la ecuación de Darcy – Weisbach, mostrada a continuación:

$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$	<b>Ecuación 4-5</b>
---------------------------------------------------------	---------------------

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 (m/s<sup>2</sup>)

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:

- Flujo Laminar (Re menor que 2000)

$f = \frac{64}{Re}$	<b>Ecuación 4-6</b>
---------------------	---------------------

donde

ReNúmero de Reynolds

- Flujo Turbulento (Re mayor que 4000), desde flujo hidráulicamente liso a flujo hidráulicamente rugoso

$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$	<b>Ecuación 4-7</b>
------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

donde

$k_s$  = Rugosidad absoluta de la tubería (m)

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:

$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$	<b>Ecuación 4-8</b>
-----------------------------------------	---------------------

donde

$\rho$  = Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = Viscosidad del fluido (Pa\*s)

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 4-14 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 4-14 Densidad y viscosidad del agua según la temperatura (Tomada del Título B del RAS 2000)**

Temperatura (°C)	Densidad, $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad, $\mu$ (x10 <sup>-3</sup> Pa*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 4-15, la cual corresponde a tuberías nuevas, teniendo en cuenta su relación y dependencia con los siguientes factores: el material del cual están hechos los tubos, el proceso de fabricación de los tubos 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 4-15 Valores de rugosidad absoluta**

<b>Material</b>	<b>Rugosidad absoluta <math>k_s</math> (mm)</b>
Acero comercial	0,45
CCP	0,12
Hierro dúctil (HD)	0,25
HD con mortero	0.10
GRP	0,030
Polietileno	0,0015
PVC	0,0015

- El envejecimiento de tuberías de concreto reforzado aislado interiormente y de tuberías de materiales plásticos extruídas puede ser considerado despreciable para el proyecto de diseño de las conducciones a presión.
- Para las tuberías metálicas existentes, cuando no sea posible una limpieza periódica, el diseño debe incluir un factor de seguridad sobre la rugosidad absoluta de la tubería, que refleje los efectos hidráulicos del deterioro de la pared interna al final del período de diseño. Este factor debe ser aprobado por EPM y no puede ser inferior a 3.0.

#### 4.5.3.2 Cálculo de las pérdidas menores

Para el cálculo de las pérdidas menores producidas por los accesorios colocados en la línea de conducción, tales como las válvulas, los codos, las tees, las reducciones, las ampliaciones y otros accesorios debe utilizarse la siguiente ecuación:

$H_m = K_m \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$	<b>Ecuación 4-9</b>
-----------------------------------------	---------------------

donde

$K_m$ = Coeficiente de pérdidas menores

**Tabla 4-16 Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes (Tomada del Título B del RAS 2000)**

<b>Accesorio</b>	<b><math>K_m</math></b>
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	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

El diseño debe justificar el valor de cada coeficiente de pérdidas menores para cada uno de los accesorios de la conducción, con base en la bibliografía adoptada por el diseñador. A modo de ejemplo se presenta la Tabla 4-16 con algunos coeficientes de pérdidas menores para accesorios típicos de conducciones a presión.

Para accesorios diferentes a los mostrados en la tabla anterior, el diseñador debe sustentar el coeficiente de pérdidas menores, el cual debe ser aprobado por EPM.

Para el caso específico de las pérdidas menores causadas por las uniones entre los tubos que conforman la conducción, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

- La pérdida de energía en tuberías a presión, que presenten salientes en las

juntas de los tubos a lo largo del perímetro interior de la sección, es la suma de la pérdida de energía 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 deben calcular por medio de la siguiente ecuación:

$H_m = K_m \times \frac{v^2}{2g}$	<b>Ecuación 4-10</b>
-----------------------------------	----------------------

Para  $l_j/D$  menor que 30:

$K_m = K_0 \times K_1$	<b>Ecuación 4-11</b>
------------------------	----------------------

Para  $l_j/D$  mayor que 30:

$K_m = K_1$	<b>Ecuación 4-12</b>
-------------	----------------------

La variable  $l_j$  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 4-17 y Tabla 4-18 mostradas a continuación:

**Tabla 4-17 Valores de  $K_0$**

(Tomada del Título B del RAS 2000)

$l_j / D$	4	8	12	16	20	24	30
$K_0$	0,30	0,45	0,58	0,68	0,78	0,87	1,00

**Tabla 4-18 Valores de  $K_1$**

(Tomada del Título B del RAS 2000)

$d / D$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$K_1$	0,015	0,035	0,06	0,09	0,13

$d / D$	0,06	0,07	0,08	0,09	1,00
$K_1$	0,17	0,21	0,26	0,32	0,38

donde,

$d$  = longitud saliente de la tubería en una junta (m)

2. Las pérdidas de energía debidas a las uniones de tipo campana y espigo y a uniones con anillo de caucho similar pueden considerarse como despreciables, debido a que no presentan salientes hacia el interior de la tubería, siempre y cuando la longitud de la conducción sea de por lo menos 500 m. Para tuberías con longitudes inferiores a este valor, el diseño debe considerar el coeficiente de pérdidas menores por unión dado por el fabricante en sus catálogos.

#### 4.5.3.3 Cálculo hidráulico con la Ecuación de Hazen-Williams

Alternativamente, para el cálculo del diámetro de las tuberías de las conducciones, se podrá utilizar la ecuación de Hazen-Williams mostrada a continuación:

$H = 10.69 \times L \times Q^{1.852} \times C^{-1.852} \times D^{-4.867}$	<b>Ecuación 4-13</b>
---------------------------------------------------------------------------	----------------------

donde

$L$  = Longitud de la tubería (m)

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$C$  = Coeficiente de Hazen-Williams

$D$  = Diámetro de la tubería (m)

En este caso es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones limitantes para el uso de esta ecuación, las cuales son:

- a. El diámetro nominal no puede ser menor que 100 milímetros.
- b. La velocidad no puede ser mayor que 3 m/s.
- c. El flujo no puede ser laminar.

Debido a las restricciones de velocidad en el uso de esta ecuación, para establecer las condiciones de lavado de las tuberías de la conducción, es necesario verificar la sensibilidad de los resultados hidráulicos. En caso de que las velocidades de lavado sean mayores, para los cálculos hidráulicos

correspondientes, se debe hacer uso de la ecuación de Darcy-Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White.

**Para obtener el coeficiente de Hazen-Williams utilizado en la Ecuación 4-13 se deben utilizar los valores establecidos en la Tabla 4-19.**

**Tabla 4-19 Valores del Coeficiente CHW de Hazen-Williams (Tomado del libro “Hidráulica de Tuberías” – Juan G. Saldarriaga)**

Material	Condición	Diámetro (in)	CHW
Acero soldado	Constante	d ≥ 12	120
		8 ≤ d ≤ 10	119
		4 ≤ d ≤ 6	118
Acero bridado	Constante	d ≥ 24	113
		12 ≤ d ≤ 20	111
		4 ≤ d ≤ 10	107
Concreto	Formaleta de acero	Todos	140
	Formaleta de madera	Todos	120
	Centrifugado	Todos	135
PVC	Constante	Todos	150
Hierro dúctil	Con revestimiento interior de cemento		140 -
			150
Polietileno <sup>3</sup>			150
GRP <sup>4</sup>			150

#### 4.5.4 Calidad del agua

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.

Las ecuaciones para el análisis de la calidad de agua deben ser tales que simulen los procesos de decaimiento del cloro residual en la red, los

<sup>3</sup> [http://www.coval.com.co/pdfs/man\\_pavco\\_pead.pdf](http://www.coval.com.co/pdfs/man_pavco_pead.pdf) “Manual Técnico: Sistemas de Tuberías y Accesorios PEAD para conducción de agua potable Acuaflex, PAVCO”

<sup>4</sup> [http://www.subor.com.tr/english/html/Ctp\\_Pipe.html](http://www.subor.com.tr/english/html/Ctp_Pipe.html) - 19k

cuales deben permitir calcular la concentración de cloro y el tiempo de vida media del agua en cada nudo y la edad media del agua. Para el uso de estas ecuaciones se deben utilizar las constantes de decaimiento mostradas en el Numeral 4.4.4 de esta norma o aquellos por los cuales sean reemplazados. 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:

$$\frac{dc}{dt} = -v \frac{dc}{dx} - K_b * c - \frac{K_w}{R} * (c - c_w) \quad \text{Ecuación 4-14}$$

donde

$c$  = Concentración de cloro (mg/L)

$c_w$  = Concentración de cloro en la pared de la tubería

$v$  = Velocidad media del agua (m/s)

$R$  = Radio hidráulico de la tubería (m)

$t$  = Tiempo (s)

$x$  = Abscisa o distancia horizontal (m)

$K_w$  = Coeficiente de transferencia entre el agua y la pared de la tubería

$K_b$  = Constante de reacción de primer orden en el agua

El proceso de mezcla de agua en los nudos debe calcularse aplicando la siguiente ecuación de continuidad:

$$C_s = \frac{\sum C_{ij} * Q_{ij}}{\sum Q_{ij}} \quad \text{Ecuación 4-15}$$

El proceso en los tanques de almacenamiento y/o compensación puede calcularse con las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \sum q_e - \sum q_s \\ \frac{d(V * c)}{dt} &= \sum q_e * c_k - \sum q_s * c_j - K_b * c \end{aligned} \quad \text{Ecuación 4-16}$$

donde

$C_j$  = Concentración en un caudal de salida (mg/L)

- $C_k$  = Concentración en un caudal de entrada (mg/L)  
 $Q_{ij}$  = Caudal que fluye del nudo i al nudo j ( $m^3/s$ )  
 $q_e$  = Caudal de entrada ( $m^3/s$ )  
 $q_s$  = Caudales de salida ( $m^3/s$ )  
 $V$  = Volumen de agua en el (los) tanque (tanques) ( $m^3$ )  
 $C_{ij}$  = Concentración de cloro que entra del nudo i al nudo j (mg/L)  
 $C_s$  = Concentración final de cloro en el agua que sale del nudo j (mg/L)

#### 4.5.5 Corrosión en tuberías

En general en el caso de tuberías metálicas, ninguna parte metálica del sistema debe estar en contacto directo con el agua. En el caso de requerir uso tuberías de acero se debe utilizar recubrimiento interno y externo en mortero como se indica en el Numeral 4.5.6. En el caso de tuberías con diámetros nominales inferiores a 200 mm se deben utilizar pinturas epóxicas al interior de la tubería, con los tratamientos necesarios para garantizar la adherencia de la pintura a la tubería. En caso de que sea posible utilizar aceros inoxidable, ésta es la mejor opción y por consiguiente se debe utilizar. Las tuberías que llegan o salen de los tanques de almacenamiento y/o compensación, que lleguen hasta las válvulas y tengan diámetros nominales inferiores a 200 mm, deben ser en acero inoxidable y soldadas con el proceso TIG, al igual que todas las estructuras metálicas interiores.

Todas las protecciones contra la corrosión tanto interna como externa en las tuberías de la conducción deben cumplir con lo estipulado en las normas AWWA, NACE, DIN, ISO y en la resolución 1166 del anterior Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

#### 4.5.6 Recubrimientos y protección de Tuberías

##### 4.5.6.1 Recubrimientos externos

El diseño de las tuberías de la red de conducciones debe incluir un análisis sobre el recubrimiento externo y la protección de las tuberías.

Los revestimientos de las tuberías metálicas pueden ser: polietileno o polipropileno, mortero de cemento, o un revestimiento aprobado por EPM. Para tubería metálica expuesta y sin presencia de corrientes parásitas se permite el uso de resina epóxica. Las tuberías de acero deben tener continuidad eléctrica, protección catódica o ánodos de sacrificio y estaciones de medición, según lo establecido en el manual AWWA M27 "External Corrosion-Introduction to Chemistry And Control". Las tuberías de hierro dúctil, cuando se requiera, deben encapsularse en manga de polietileno para aislarlas de las corrientes eléctricas parásitas, siguiendo lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 3819 y el manual AWWA M27 "External Corrosion - Introduction to Chemistry And Control".

En todo caso, EPM deben aprobar los recubrimientos externos contenidos en el diseño de la red de conducción. Las siguientes normas describen algunos recubrimientos externos para diferentes materiales de tuberías:

Tabla 4-20 Normas para Recubrimientos externos.

NORMA	NOMBRE
AWWA Manual M41	Ductile-Iron Pipe and Fittings
AWWA Manual M27	External Corrosion - Introduction to Chemistry And Control
AWWA C105/A 21.5	Polyethylene Encasement for Ductile-Iron Pipe Systems
DIN 30675-2	External corrosion protection of buried pipes; corrosion protection systems for ductile iron pipes
NTC 747	Tubos de presión tipo cilindro de acero con recubrimiento de hormigón, mortero o ambos
NTC 3819	Tubería metálica. Recubrimiento de polietileno para tubería metálica
NTC 4326	Tubos de acero. Recubrimiento externo

<b>NORMA</b>	<b>NOMBRE</b>
	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.

#### 4.5.6.2 Recubrimientos internos

El diseño de las tuberías de la red de conducciones debe incluir un análisis sobre el recubrimiento interno y la protección de las tuberías, el cual debe ser previamente aprobado por EPM. En tuberías de acero se recomienda el uso de recubrimientos internos con mortero de cemento.

En general se podrán usar los materiales que se describen en las siguientes normas, con el fin de proteger internamente las tuberías:

**Tabla 4-21 Normas para Recubrimientos internos.**

<b>NORMA</b>	<b>NOMBRE</b>
AWWA C104/A21.4	Cement-Mortar Lining for Ductile-Iron Pipe and Fittings for Water
AWWA D104	Automatically Controlled, Impressed-Current Cathodic Protection for the Interior of Steel Water Tanks
AWWA C550	Protective Epoxy Interior Coatings for Valves and Hydrants
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

<b>NORMA</b>	<b>NOMBRE</b>
	hidrantes.
NTC 747	Tubos de presión tipo cilindro de acero con recubrimiento de hormigón, mortero o ambos

Adicionalmente, el tipo de recubrimiento y protección debe cumplir con lo establecido en las NEGC en su Capítulo 7, para tuberías de acero.

#### 4.5.7 Accesorios y estructuras para las tuberías de conducción

##### 4.5.7.1 Aspectos generales

En todos los casos de diseño de conducciones, nuevas redes o ampliaciones, el diseñador 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 diseñador 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.

Todos los elementos que conforman las redes y de acuerdo con el diseño del proyecto, deben someterse a la aprobación y homologación por parte de EPM. Esta aprobación debe solicitarse

al inicio del contrato de la construcción del proyecto.

#### 4.5.7.2 Válvulas de corte o cierre

Estas válvulas deben localizarse al comienzo y al final de la línea. En todos los casos el diseño debe hacer un estudio de los transientes hidráulicos ocasionados por la operación de las válvulas en el sistema y debe incluir unas recomendaciones de operación. En caso de que la tubería presente grandes desniveles, se debe verificar que para la condición de cierre de la válvula de corte, la presión en el punto más bajo no supere la presión de diseño establecida en el Numeral 1.1.1 de esta norma.

Las válvulas 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 internacional equivalente, previa aprobación de EPM.

Adicionalmente, el diseño debe evaluar la necesidad de instalar válvulas de corte intermedias a lo largo de la línea de conducción en sistemas por gravedad, en cuyo caso debe justificarse su instalación, analizando los aspectos técnicos que dependen de su operación, además de cumplir con las exigencias de esta normatividad y de otras normas nacionales. El diámetro de la válvula debe seleccionarse igual al diámetro de la tubería de la conducción y debe verificarse para evitar problemas de cavitación para flujos con altas velocidades.

**Tabla 4-22 Normas Técnicas para las válvulas de corte**

<i>Tipo de válvula</i>	<i>Norma Técnica NTC</i>	<i>Otras normas</i>
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

#### 4.5.7.3 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 muy baja ( $\leq 3\%$ ) 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. Las válvulas de ventosa deben ser bridadas según especificaciones de norma AWWA, y con cuerpo fundido en hierro dúctil. Solamente en casos especiales se podrán utilizar válvulas roscadas, previa aprobación de EPM.
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:
  - a. Para tuberías con diámetro nominal menor o igual a 100 mm, el diámetro mínimo será de 50 mm.
  - b. Para tuberías con diámetro nominal mayor que 100 mm, el diámetro mínimo de las ventosas será de 100 mm.
5. Toda válvula de ventosa debe poder aislarse de la tubería principal por medio de una válvula de corte.
6. 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 completamente asegurada.
7. 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.
  8. 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.
  9. Como dispositivos automáticos para la entrada o salida de aire de las líneas de conducción pueden utilizarse los siguientes:
    - a. 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.
    - b. Tubos verticales o chimeneas cuando su extremidad superior pueda situarse por encima de línea piezométrica máxima para la entrada de aire.
  10. En el caso de que exista una válvula intermedia en la conducción, ésta debe estar dotada de un paso lateral (bypass) 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:
    - a. La válvula intermedia se localice en tramos descendientes de la tubería y su apertura no pueda realizarse sin causar perjuicios a la estructura.
    - b. La válvula intermedia sea del tipo compuerta y la presión en el punto en que estuviese instalada cause un empuje superior a 20 KN.
  11. Las válvulas de ventosa deben cumplir con la Norma Técnica Colombiana correspondiente o en su defecto con la norma AWWA C512.

#### 4.5.7.4 Válvulas de purga o desagüe

En los puntos bajos de la tubería de conducción, o cada 350 m cuando la pendiente sea muy baja ( $\leq 3\%$ ), 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 75 mm para tuberías mayores que 100 mm. Para diámetros menores debe adoptarse el mismo diámetro de la tubería principal.
3. Cada válvula debe estar protegida con una cámara de inspección accesible con su respectivo drenaje. Se debe seguir lo establecido en el Numeral 4.5.8.1 de esta norma.
4. Si la velocidad de salida de la válvula de purga es mayor que 3 m/s, debe colocarse una estructura de disipación de energía.
5. El dimensionamiento de la descarga debe hacerse 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.

- Las válvulas de desagüe o purga deben ser de compuerta con vástago ascendente y con reductor mecánico y deben cumplir con las Normas Técnicas Colombianas correspondientes, o sus normas equivalentes AWWA, ASTM, DIN, ISO o cualquier otra norma internacional equivalente, previa aprobación de EPM.

#### 4.5.7.5 Válvulas de cheque

En el caso de que la línea de conducción corresponda a la línea de impulsión de un bombeo, el diseño debe contemplar el colocar válvulas de cheque o de retención con el fin de evitar el retroceso del agua, con el consiguiente vaciado del conducto y posibles daños en las bombas o posibles aplastamientos de la tubería.

Las válvulas de cheque sencillas o de doble acción deben cumplir con las Normas Técnicas Colombianas correspondientes o en su defecto con las normas AWWA C508, AWWA C510, o cualquier otra norma internacional equivalente, previa aprobación de EPM.

En el caso de utilizar aleaciones de cobre como material de fabricación de estas válvulas, debe cumplirse con la Norma Técnica Colombiana NTC 1762.

#### 4.5.7.6 Válvulas de protección contra golpe de ariete

Este tipo de válvulas deben instalarse en tuberías de conducción por bombeo, sometidos a riesgos de sobrepresiones por golpe de ariete, sobre la línea de impulsión, con el fin de proteger las bombas y las tuberías correspondientes.

#### 4.5.7.7 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.

Estas válvulas deben cumplir la NEGC correspondiente.

#### 4.5.7.8 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.

#### 4.5.7.9 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 de la línea de conducción. El diseño debe contemplar la

instalación de este tipo de cámaras cuando se haya seleccionado como la alternativa óptima en 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.

#### 4.5.7.10 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 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.

#### 4.5.7.11 Bocas de acceso

En caso de que la tubería de la conducción tenga un diámetro nominal igual o superior a 900 mm, el diseño debe contemplar bocas de acceso con un diámetro mínimo de 0.6 m. Las bocas de acceso deben localizarse preferiblemente junto a válvulas de control, a válvulas de purga o a cruces bajo interferencias en las cuales no sea aconsejable instalar válvulas de purga.

El espaciamiento máximo de las bocas de acceso, contemplado desde la etapa de diseño, debe ser el siguiente:

1. 500 m para tuberías de CCP sin importar cual sea el diámetro de la línea de conducción.
2. 500 m para tuberías de acero con diámetro igual o mayor que 1.5 m.
3. 1000 m para tuberías de acero con diámetros entre 900 mm y 1.5 m. En las tuberías de acero deben instalarse bocas de acceso junto a todas las válvulas de maniobra.
4. Para cualquier otro tipo de materiales que conforman la tubería de la red de conducciones deben colocarse bocas de acceso cada 500 m, independientemente del diámetro de la conducción.
5. Las bocas de acceso deben tener las especificaciones dadas en las Normas Técnicas Colombianas correspondientes, o en su defecto en normas AWWA, ASTM, DIN, ISO o cualquier otra norma internacional, previa aprobación de EPM.

#### 4.5.7.12 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.

#### 4.5.7.13 Salidas para mediciones

Desde el diseño se deben contemplar los sitios de salidas para mediciones pitométricas y de caudal, los cuales pueden ser para uso permanente, mediante el uso de data loggers y/o telemetría, o para uso esporádico. Deben existir salidas por lo menos al comienzo y al final de la línea de conducción 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, deben colocarse este tipo de salidas para medición después de cada derivación desde la conducción. El diámetro interno de la salida debe ser de 50 mm y debe colocarse con una

válvula esférica o de globo y su correspondiente tapón roscado. En el caso de accesorios, las salidas para medición deben colocarse al menos a 2 diámetros de distancia del respectivo accesorio.

#### 4.5.7.14 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 Técnica Colombiana NTC 2587, o 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 inoxidable para la instalación de uniones de montaje que, por lo general, también deben ser de tres cuerpos.

#### 4.5.7.15 Juntas de expansión

El diseño debe prever 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 a las posibles deflexiones de las estructuras.

Estas juntas deben ser similares a las establecidas en la norma AWWA C220 y deben cumplir con los requisitos allí establecidos. En todo caso, el diseño de las juntas de expansión debe seguir lo establecido en el literal G.3.3 “Diseño de tuberías a presión” del Título G del RAS vigente.

#### 4.5.7.16 Juntas antisísmicas

Teniendo en cuenta el nivel de riesgo sísmico y los estudios de microzonificación sísmica para los municipios atendidos por EPM, el diseño debe contemplar juntas cuyo objetivo sea el absorber las deformaciones que pueden producirse en la ocurrencia del mayor sismo, el cual debe obtenerse de la norma sismorresistente colombiana NSR-10, o aquella que la remplace.

#### 4.5.7.17 Codos, tees, reducciones y otros accesorios en conducciones

Para las tuberías con juntas elásticas, los accesorios deben fabricarse por el productor de la tubería, o en su defecto, deben existir en el mercado otros materiales que permitan su instalación con adaptadores, teniendo en cuenta todas las normas nacionales e internacionales vigentes, las cuales se muestran referenciadas en la

Tabla 4-23.

En el caso de deflexiones pequeñas o curvas con radio de curvatura grande pueden utilizarse las deflexiones admisibles en las juntas tipo espigo-campana, hasta conformar la curva deseada.

Para las tuberías de acero soldado, las piezas especiales y los accesorios deben diseñarse y fabricarse de acuerdo con las normas y recomendaciones de la AWWA C 208. Para las tuberías de hierro dúctil, las bridas también pueden regirse por las normas AWWA. En el caso particular de curvas de deflexión inferiores que 8°, estas se pueden fabricar en campo a través del corte oblicuo de los tubos.

**Tabla 4-23 Normas Técnicas de los accesorios según el material (Adaptada del Título B del RAS 2000)**

<i>Material</i>	<i>Normas Técnicas Colombianas</i>	<i>Otras normas</i>
Acero <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bridas</li> <li>• Uniones</li> <li>• Acoplamientos con manga</li> <li>• Uniones campana/espigo                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uniones soldadas en campo</li> </ul> </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 centrifugado</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
CCP	NTC 1328	AWWA C 300 C 301 C 302 -C 303 y C 304 ASTM C 822
PVC <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	ASTM D 2609 ASTM D 2683 ASTM D 3261
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	NTC 3877	ASTM D 3567 ASTM D 4161

#### 4.5.8 Estructuras complementarias para conducciones

##### 4.5.8.1 Cajas para válvulas

En un proyecto de diseño o ampliación de una conducción que incluya válvulas, el diseñador debe especificar para cada válvula las dimensiones de las respectivas cajas, de tal manera que se permita el acceso para labores de operación y mantenimiento por parte del personal autorizado de EPM.

##### 4.5.8.2 Estaciones reguladoras de presión

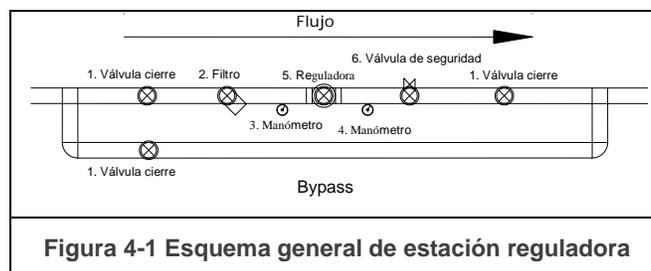
Con el fin de reducir la presión hasta un valor menor y establecer un nuevo nivel estático, el diseño debe contemplar la instalación de estaciones reguladoras de presión. Estas estaciones son usadas a la llegada de las conducciones a los tanques de almacenamiento y/o compensación.

Las estaciones reguladoras de presión deben estar basadas en el uso de válvulas de flujo o paso anular con regulación o el uso de

cámaras de quiebre de presión que alcancen a igualar la presión de la conducción a la presión atmosférica correspondiente, válvulas ventosas, válvulas de corte, filtros, unión de desmontaje y by pass.

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 válvulas reguladoras de presión deben cumplir con los siguientes requisitos:

- a. Las estaciones reguladoras de presión deben tener bifurcaciones en la línea de conducción que permitan tener dos trenes paralelos de regulación de presión, con las correspondientes válvulas de corte, filtros, manómetros, etc, con el fin de permitir el funcionamiento de la instalación en caso de daño y/o mantenimiento de uno de ellos. En aquellos casos en que EPM lo considere conveniente, la cámara podrá construirse sin la bifurcación; en estos casos, cuando sea necesario desmontar la válvula por razones de mantenimiento debe existir un niple que la reemplace temporalmente.
- b. 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 remplazo de las válvulas, éste pueda ser removido.
- c. Se recomienda que las cámaras para las válvulas que están en la línea de la conducción, tengan techos desmontables en concreto.
- d. La disposición de elementos en una estación reguladora de presión en conducciones, debe seguir, como mínimo, lo mostrado en la Figura 4-1, pero los elementos siempre deberán definirse con el área encargada, de acuerdo a los requerimientos tecnológicos.



#### 4.5.8.3 Anclajes

En las líneas 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 horizontales como verticales, 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 bridados o acerrojados con las piezas anteriores y posteriores que tengan una longitud de mínimo 4.0 m.
  - b. En tuberías de CCP, los codos deben tener una extensión al principio y al final, de mínimo de 4.0 m como pieza completa, o tener uniones por cinturones de cierre soldados con piezas rectas anteriores y posteriores.
  - c. En tuberías de GRP, las uniones a codos y otros accesorios se deben

hacer con acoples de doble campana, sello de caucho y tope central. En aquellos casos en que esto no sea posible se unirán los espigos con uniones laminadas, fabricadas con mantas de fibra de vidrio y resinas.

5. Los espigos y campanas de tuberías no pueden quedar dentro del anclaje y se debe respetar una distancia mínima de 20 cm de la campana-espigo. Este criterio no aplica para las tuberías de GRP.

Para el cálculo de las fuerzas hidrodinámicas que deben soportar los anclajes, el diseñador debe utilizar la ecuación de conservación de momentum lineal bajo condiciones de flujo permanente y con el caudal máximo bajo condiciones normales o especiales de operación correspondientes al final del período de diseño. Una vez obtenida esta fuerza, el diseño de los anclajes se debe hacer teniendo en cuenta lo establecido en el Título G del RAS, en su versión vigente.

#### **4.5.8.4 Estructuras especiales para protección de tuberías**

Cuando la línea de conducción cruce vías de alto tráfico, vías férreas, vías del metro, ríos, quebradas u otros obstáculos naturales deben proyectarse estructuras especiales que garanticen la seguridad de la misma, siendo concebidas desde el diseño para absorber las cargas y otros esfuerzos que puedan ser el resultado de la colocación de las tuberías. Estas estructuras deben ser metálicas, de concreto o de otros materiales con la aprobación previa de EPM y conformar puentes, pasos colgantes y túneles.

Las estructuras especiales en las líneas de conducción deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. En el paso de la tubería de conducción por zonas en 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 un período de retorno de acuerdo a lo

establecido por la entidad ambiental competente, con la cual debe hacerse el trámite respectivo, en caso de no tener la información correspondiente el período de retorno será 50 años como mínimo y deben preverse los apoyos protegidos contra posibles erosiones locales. Estos aspectos deben quedar incluidos en el diseño.

2. Las obras de arte, tales como sifones, cruces de vías de alto tráfico, de vías férreas, de vías del metro o para salvar pasos de ríos, quebradas o depresiones del terreno deben proyectarse de tal forma que se garantice la durabilidad, la permanencia y el buen funcionamiento de las obras. Los accesorios deben ser del mismo material de las tuberías de conducción.

En algunos casos especiales, las tuberías de conducción o tramos de ésta requieren de protecciones especiales indicadas en el Numeral 4.5.6. La protección de las tuberías de conducción no enterradas debe ser obligatoria cuando estas atraviesan zonas locales donde pueden estar sujetas a daños de cualquier naturaleza, provocada por agentes reales o potenciales.

#### **4.5.9 Golpe de ariete en conducciones**

En el diseño de las conducciones debe hacerse siempre un análisis del golpe de ariete, causado por la operación de válvulas o por accidentes en la línea, para el cual deben seguirse los criterios y aspectos sugeridos en el Anexo 4.1 de este capítulo.

#### **4.5.10 Análisis de puntos muertos en las conducciones**

En general, los diseños nuevos y los diseños de ampliaciones en la red de conducciones, no deben permitir la existencia de puntos muertos.

En el caso de que existan puntos muertos, el diseño debe contemplar la existencia de elementos y accesorios de control que permitan hacer un lavado periódico de la red de conducciones en este sector. En este caso, el diseño debe establecer claramente las rutinas

de operación que garanticen la calidad del agua en la red de conducciones.

En el caso de existencia de zonas muertas en la red de conducciones, el diseño debe incluir el análisis del efecto que dichas zonas tienen sobre la calidad del agua general que llega a los tanques de almacenamiento y/o compensación. Para esto se debe utilizar un programa de cálculo hidráulico de la red de distribución, basado en el método del gradiente.

El diseño también debe establecer, para el caso de los puntos muertos, la forma de lavado especificando qué válvulas se deben operar simultáneamente a la apertura de la válvula al final de la zona muerta, con el fin de conseguir las condiciones hidráulicas de velocidad y de esfuerzo cortante que permitan el desprendimiento de las películas biológicas y la resuspensión de posibles depósitos inorgánicos al interior de la tubería. El diseño también debe establecer la frecuencia de lavado y la duración de lavado en cada uno de los puntos muertos de la red.

#### 4.5.11 Estructuras para el lavado de las conducciones

El diseño de las conducciones o ampliaciones de ésta debe incluir las operaciones de lavado con el fin de ayudar al desprendimiento de biopelículas y depósitos inorgánicos localizados al interior de las tuberías. El diseño debe incluir todos los accesorios de control como válvulas de cono hueco, válvulas de purga o desagüe, estructuras de disipación de energía y canales de entrega de las aguas lavadas al sistema de acueducto de los municipios atendidos por EPM.

##### 4.5.11.1 Estructuras de disipación de energía

Debido a las altas velocidades esperadas en las descargas de las válvulas utilizadas para las operaciones de lavado, es necesario que a la salida de éstas se diseñe una estructura de disipación de energía que permita entregar los caudales de agua de lavado a los canales de drenaje natural de los municipios atendidos por

EPM con niveles de energía que no impliquen riesgos de socavación local o erosión generalizada en estos cuerpos de agua, que puedan poner en peligro la infraestructura existente, incluyendo la válvula de lavado en si.

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.

Las estructuras de caída libre, son las estructuras más viables económicamente para estructuras de baja cabeza. 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 utilizados 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 a 3 ó 4 veces la profundidad crítica, aguas arriba del borde de caída. La profundidad en el borde es igual a 0,175 veces la profundidad crítica para un canal ancho en un canal de pendiente cercana a la horizontal. La profundidad crítica para un canal rectangular y para canales trapeciales anchos, está dada por la siguiente ecuación:

$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB^2}}$	<b>Ecuación 4-17</b>
------------------------------------	----------------------

Donde

- $y_c$  = Profundidad crítica (m)
- $Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/s)
- $g$  = Gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- $B$  = Ancho del canal (m)

En los criterios de diseño se deben tener en cuenta aspectos como la elevación de la cresta, el caudal de descarga, el ancho de la

cresta, el nivel del canal de drenaje o cuerpo receptor, 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 u 8 m, para caudales de hasta 10 m<sup>3</sup>/s y para un extenso rango de profundidades de agua. El diseñador debe tener en cuenta la protección de los materiales en los puntos donde ocurre la disipación de energía.

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 4-2:

$\frac{y_1}{y_c} = \frac{2Fr^{-2/3}}{1 + \frac{2}{Fr^2} + \sqrt{1 + \frac{2}{Fr^2} \left(1 + \frac{\Delta Z}{y_c} Fr^{2/3}\right)}}$	<b>Ecuación 4-18</b>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

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



**Figura 4-2 Esquema de estructura de caída<sup>5</sup>**

Otro tipo de estructura de disipación de energía son las rápidas escalonadas, las cuales se utilizan cuando la caída vertical es superior a 8 m, o cuando por dificultad topográfica no se puede construir una caída libre. Estas estructuras se pueden calcular como una

<sup>5</sup> Tomado de "Hidráulica del Flujo en Canales Abiertos"; Hubert Chanson; 1999.

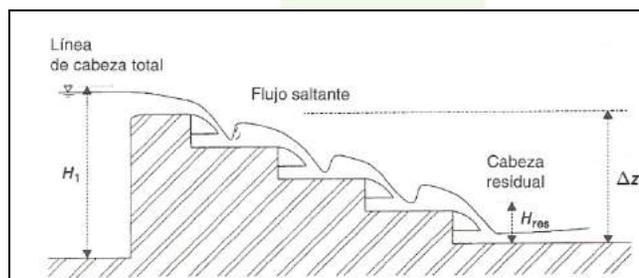
sucesión de caídas conocida como régimen de flujo saltante. El flujo crítico se obtiene al final de cada escalón, produciéndose un impacto del flujo después de cada caída. Posteriormente, se forma un resalto hidráulico obteniendo flujo subcrítico que se prolonga hasta la siguiente caída.

La disipación de energía se ocasiona por el rompimiento y mezcla del chorro, y por el resalto hidráulico en el escalón. La pérdida total de altura es igual a la diferencia entre la máxima altura disponible y la altura residual aguas abajo (diferencia de altura en el último escalón).

$\frac{\Delta H}{H_1} = 1 - \left( \frac{0.54 \left(\frac{y_c}{\Delta Z}\right)^{0.275} + \frac{3.43}{2} \left(\frac{y_c}{\Delta Z}\right)^{-0.55}}{\frac{3}{2} + \frac{\Delta Z}{y_c}} \right)$	<b>Ecuación 4-19</b>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

Donde

- $\Delta H$  = Pérdida total de altura debido a la estructura escalonada (m)
- $H_1$  = Máxima altura disponible agua arriba de la estructura (m)
- $\Delta Z$  = Altura total de caída (m)



**Figura 4-3 Esquema de caída escalonada<sup>6</sup>**

#### 4.5.11.2 Canales de entrega de las aguas lavadas

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

<sup>6</sup> Tomado de "Hidráulica del Flujo en Canales Abiertos"; Hubert Chanson; 1999.

del diseño, es necesario construir un canal de evacuación de las aguas lavadas, cuyo objetivo es transportar las aguas desde la estructura de disipación de energía hasta el drenaje natural.

En estos casos deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos de diseño:

**1. Métodos de cálculo de canales.**

El diseño de la conducción y sus estructuras de lavado debe justificar el método de cálculo para la sección transversal del canal de entrega. Se debe utilizar la ecuación de Gauckler-Manning, o alternativamente las ecuaciones de Bazin, y de Chézy. En el caso de que los canales tengan rugosidad compuesta, se recomienda el uso de la fórmula de Strickler.

En todos los casos debe justificarse el factor de fricción o coeficiente de pérdidas por fricción utilizados. Como ejemplo, en la Tabla 4-24 se establecen los coeficientes n de Manning para diferentes materiales.

**Tabla 4-24 Coeficientes de rugosidad de Manning (Tomada del Título B del RAS 2000)**

<b>Material del canal</b>	<b>n de Manning</b>
Asbesto cemento	0,010
Cemento mortero	0,013
Cemento pulido	0,011
Concreto áspero	0,016
Concreto liso	0,012
Mampostería	0,015
Piedra	0,025
Piedra sobre mortero	0,035

En todos los casos, el perfil longitudinal del flujo correspondiente al caudal máximo de lavado debe calcularse considerando una condición de flujo gradualmente variado, considerando el control en el canal natural de entrega. Se debe utilizar la ecuación general para las curvas de remanso establecida mediante la siguiente ecuación:

$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - Fr^2}$	<b>Ecuación 4-20</b>
----------------------------------------------	----------------------

donde

- $S_0$  = Pendiente del fondo
- $S_f$  = Pendiente de energía
- $F_r$  = Número de Froude

El diseño debe justificar el método de cálculo de flujo gradualmente variado, pero se recomienda el uso de programas de análisis de flujo gradualmente variado por diferencias finitas o por elementos finitos.

**2. Velocidades en los canales de entrega.**

En general la velocidad mínima permisible está determinada por el valor que evite la sedimentación de los materiales producto del lavado de las tuberías de conducción. Debido a la naturaleza de estos materiales, se recomienda un valor de velocidad mínima de 0.6 m/s.

La velocidad máxima en el canal de descarga depende del caudal de diseño, del radio hidráulico y del material de las paredes. Además deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

- a. La velocidad máxima en los canales de descarga depende del riesgo de erosión que estos puedan sufrir, el cual es función del material en que estén construidos.
- b. En la siguiente tabla se dan algunos valores de referencia de velocidades máximas en canales revestidos. En general, los canales de entrega de caudales de lavado deben estar revestidos en un material no erosionable.

Para cumplir con los requisitos de velocidad máxima en el canal de entrega y cuando las condiciones topográficas locales del sitio de descarga lo exijan, el canal de entrega debe diseñarse en forma escalonada.

- c. Pendiente mínima del canal de entrega. La pendiente mínima de diseño debe ser tal que se evite la sedimentación de las partículas producto del lavado de las conducciones.

**Tabla 4-25 Velocidades máximas en canales revestidos (m/s) (Tomada del Título B del RAS 2000)**

<b>Tipo de revestimiento</b>	<b>Características del material</b>	<b>Velocidad máxima</b>
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
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
Capa doble de 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

d. Pendiente máxima.

La pendiente máxima de diseño en los canales de entrega será aquella para la cual la velocidad del agua no sea superior a los valores establecidos en la Tabla 4-25.

Además deben cumplirse los siguientes requisitos:

- a. En el caso de que las condiciones topográficas impliquen pendientes superiores a la pendiente máxima que no produzca erosión, el canal debe diseñarse en forma escalonada. El

escalonamiento debe ser obtenido por estructuras que proporcionen caídas verticales o caídas inclinadas.

- b. En una caída vertical, el cambio de cota de agua debe hacerse en caída libre.
- c. Al final de una caída libre debe haber una estructura de disipación de energía de forma tal que el flujo se entregue con una energía cinética igual a la que tenía antes de la caída.
- d. 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 no erosionable capaz de resistir en forma adecuada las velocidades que se presentan para permitir la concordancia entre los tramos superior e inferior. Aguas abajo de la rápida debe existir una estructura de disipación de energía al cauce natural u otro tramo de baja pendiente.
- e. 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 caudal se debe entregar con una energía cinética igual a la que tenía antes del inicio de la rápida.
- f. En el punto de entrega del canal al cauce de drenaje natural, se debe diseñar una estructura de entrega que evite problemas de socavación local en ese sitio o socavación generalizada a lo largo del cuerpo receptor.

### 3. Impacto ambiental de los canales de lavado

En caso de que los caudales de lavado de tuberías sean superiores al caudal máximo del cuerpo receptor con un período de retorno de 10 años, el diseño de la conducción debe estudiar los posibles efectos ambientales, haciendo énfasis en la sedimentología.

#### 4.5.12 Comprobación del diseño de las conducciones bajo diferentes condiciones de operación.

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 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. Alternativamente el programa puede permitir el uso de la ecuación de Hazen-Williams.

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 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 de EPM.
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 de EPM.
6. Escenario de cambio en los caudales producidos por cada una de las plantas de tratamiento de EPM, en particular en el caso en que alguna de ellas salga completamente de operación.
7. Escenarios de lavado de ciertas líneas de conducción de la red de conducciones de EPM.

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 de 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 de lavado previa 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.

#### 4.5.13 Protocolo de pruebas dado por el diseñador

El diseño de una nueva conducción o una ampliación de una conducción existente debe incluir un protocolo de pruebas que especifique el tipo de pruebas hidráulicas que se deben hacer al sistema antes de que éste entre en operación. El diseño debe incluir el tipo de operación hidráulica bajo la cual se deben hacer las pruebas así como el tipo de mediciones de caudal, de presiones y de calidad de agua en puntos específicos del sistema. El diseño también debe incluir los puntos de medición, con su localización y los equipos de medición especiales, estableciendo su rango de medición y su nivel de precisión.

La diferencia máxima admisible entre los valores del diseño y los de las pruebas de campo debe ser del 5%. Las pruebas establecidas en el protocolo de pruebas deben ser realizadas por el constructor del proyecto, bajo la supervisión de EPM.

#### 4.5.14 Uso de tecnologías de información para el diseño de conducciones

El diseño de las conducciones debe realizarse sobre un programa de modelación hidráulica que use el método del gradiente para sus cálculos, que permita la modelación en período extendido y realice el diseño mediante rutinas de optimización.

El diseño dentro del programa de modelación hidráulica debe partir de la información planimétrica y altimétrica de la zona de interés. Esta información debe provenir del SIGMA de EPM. En caso de 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 Geográfico y las bases de datos establecidos por el SIGMA.

El diseño debe tener en cuenta la información de caudales de consumo, proyecciones, curvas de consumo, etc., proveniente de las bases de datos de EPM. 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 EPM.

## 4.6 OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO

### 4.6.1 Macromedición

La Macromedición tiene como objetivo mejorar la gestión de captación, potabilización, red primaria y red secundaria, buscando incrementar y mantener eficiencias de cada proceso. Desde el punto de vista metrológico debe ajustarse a los lineamientos internacionales de la OIML-R49 (Organización internacional de metrología legal)

Los macromedidores deben ser de tipo electromagnético de cuerpo bridado, sin embargo, el uso de otras tecnologías es aplicable, con previo análisis del experto en medición, ajustándose a condiciones técnicas y económicas de cada caso. La normatividad

constructiva de los medidores depende del tipo de medidor y se debe ajustar a las normas ANSI, EN o BS. Además deberá verificarse las normatividades internas de EPM referentes a las tecnología aprobadas para la macromedición..

Algunos puntos de instalación recomendados son:

- Estructuras de captación por bombeo o por gravedad
- Entrada de plantas
- Salida de plantas
- Salida de tanque de distribución
- Salida de bombeos
- Sectores de interconexión estratégicos de la red primaria
- Sectores de distribución secundaria según circuitos, subcircuitos, UCO u otro tipo de sectorización requerida.

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 estar aguas abajo de la salida de los tanques.
2. Los puntos de medición de las líneas de impulsión deben estar preferiblemente en la descarga del bombeo., sin embargo, con previo análisis de un experto se puede instalar en otros puntos.
3. Los macromedidores deben tener estructuras adecuadas para su instalación. Las recomendaciones son:
  - a. Las distancia de accesorios para medidores electromagnéticos full bore (Agujero no reducido) de cuerpo bridado, medidos desde al centro del medidor hasta el accesorio que genera turbulencia:

#### **Aguas arriba:**

Distancia mínima: 3 diámetros nominales

Distancia recomendada: 5 diámetros nominales

**Aguas bajo**

Distancia mínima: 2 diámetros nominales

Distancia recomendada: 2 diámetros nominales

Existen medidores de agujeros reducidos que permiten reducir las distancias mínimas, sin embargo, puede requerir un análisis de pérdidas cuando el sistema carece de energía potencial. Para agua potable También se puede hacer uso de correctores de flujo para homogenizar el perfil de velocidades.

- b. La velocidad mínima requerida para tener precisiones aceptables es de 0.1 m/s.
- c. Cuando la velocidad es menor de 0.1 m/s se deben instalar conos de reducción y expansión, lo cual repercute para tener una mayor exactitud en el punto de medida. No se podrá reducir más de dos diámetros nominales. Estos conos deben tener ángulos de inclinación menores que 8°, con el fin de no afectar el perfil de velocidades y mantener bajas las pérdidas menores.
- d. Sección de verificación, para la comprobación del estado del medidor electromagnético, técnicas de diagnóstico, ya sea hidráulica, por comparación o mediante software.
- e. Instalación de válvulas de cierre aguas abajo del medidor para que sea posible verificar el cero del equipo.
- f. Cuando EPM lo determine, se debe instalar una válvula aguas arriba del medidor.
- g. Instalación de tomas para el análisis de agua en un sitio definido, que no altere la medición del caudal.
- h. Cuando EPM lo determine y no se requiera una estación de medición permanente, se deben dejar instalados niples de medición para equipos portátiles.

- i. El nivel de automatización, telemetría y telegestión depende de las necesidades y estrategia operativa de cada sistema de acueducto.

4. La selección del equipo o estructura de medición debe considerar los siguientes factores:

- a. Nivel de complejidad del sistema
- b. Requisitos de precisión de la medición
- c. Rango de caudales esperado o requerido
- d. Presión de operación
- e. Calidad del agua
- f. Restricciones de ubicación del equipo
- g. Accesibilidad para mantenimiento y calibración del equipo
- h. Compatibilidad con sistemas SCADA

Todos los tipos de medidor, como los de tipo volumétrico, electromagnético, de presión diferencial, vortex, o de otras tecnologías, deben ser calibrados hidráulicamente (Calibración húmeda) en fábrica contra un medidor maestro que sea aceptado por el "National Institute of Science and Technology", NIST ó entidad similar (PTB, BIPM, UK, CNCR, CENAM, CEM etc.). La calibración debe realizarse mínimo en dos puntos del rango de trabajo y sus resultados deben adjuntarse con cada equipo ya que su curva de calibración deberá ser garantizada.

Para medidores de canal o vertedero deben ser estandarizados bajo la norma ANSI, ASME o EN y de igual manera entregarse calibrado. No se permiten fabricaciones no estándares debido a la falta de información para efectos de calibración.

**4.6.2 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 y debe realizarse según

lo establecido en el Capítulo G.3 “Aspectos Estructurales” del Título G del RAS vigente.

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 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

Este tipo de instalación se permite cuando la profundidad de la tubería es superior de 9 a 12 m o cuando se dificulta la construcción por zanjas debido a obstrucciones superficiales

#### 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 alternativo 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 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 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 u otras normas internacionales aceptadas por EPM, 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 de 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 apéndice A de la norma AWWA C-303.

#### **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 de tuberías de HD Serie Métrica, HD serie pulgadas y HD recubrimientos.

#### **e. Tuberías de PVC**

El diseño de líneas de conducción donde se requiera utilizar tuberías de PVC debe estar basado en la norma AWWA C905, 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 la norma AWWA C906, que incluye las especificaciones para tuberías de PE con diámetros entre 100 mm y 1575 mm.

### 4.6.3 Colocación y nivelación de las tuberías de conducciones

En el caso de líneas de conducción nuevas o ampliaciones a líneas de conducción existentes, el eje de las tuberías debe localizarse con tránsito y estacarse al menos cada 10 m. Las tuberías deben referenciarse con respecto a los ejes y los paramentos de las vías, previamente verificados por EPM o por la Oficina de Planeación de la ciudad de Medellín o los municipios atendidos por EPM. En todo caso, debe seguirse lo establecido en el “Manual para la referenciación de redes de acueducto y alcantarillado”, versión vigente<sup>7</sup>.

Los levantamientos altimétricos y planimétricos deben referenciarse a los B.M. o a las placas oficiales de las Empresas Públicas de Medellín o de las oficinas de Planeación Municipal de los municipios atendidos por EPM. En aquellos municipios donde EPM sean los operadores, y no existan B.M. o placas oficiales de la Oficina de Planeación Municipal, los levantamientos altimétricos y planimétricos deben referenciarse a las placas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

### 4.6.4 Análisis de interferencias

En las secciones de las vías que deben aparecer en los planos de la red de

conducciones, el diseño debe indicar la localización de las redes de acueducto, de alcantarillado, de otros servicios públicos y de otras obras de infraestructura de los municipios atendidos por EPM.

Antes de iniciar la excavación de la zanja, deben localizarse los alcantarillados principales y las posibles conexiones domiciliarias que se intersecten con el eje de la tubería, al igual que las redes de otros servicios públicos, y se deben tomar las medidas necesarias para evitar la descarga en la zanja que se va a construir. Si en las zanjas se encuentran aguas residuales, estas deben eliminarse y se debe proceder a desinfectar la zanja por cualquier sistema de descontaminación.

### 4.6.5 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 que la especificada anteriormente para su protección, en caso de circulación de vehículos con carga que puedan causar daños a la tubería.
4. En la instalación de la tubería en áreas sujetas a inundaciones, el diseño debe evitar la posibilidad de que la tubería flote, principalmente cuando por razones de mantenimiento o razones de emergencia no esté llena de agua, recomendando anclaje para evitar

<sup>7</sup> [http://www.EPM.com/epmcom/contenido/proveedores/manuales/manual\\_aguas/index.htm](http://www.EPM.com/epmcom/contenido/proveedores/manuales/manual_aguas/index.htm)

problemas de flotación donde sea necesario.

5. En general, la instalación de tuberías debe realizarse siguiente lo establecido en el Capítulo G.4 “Aspectos de construcción” del Título G del RAS vigente. En particular se deben seguir los procedimientos de instalación y conexión de tuberías de acero, de PVC, de concreto u otras tuberías al igual que la instalación especial de accesorios como válvulas, estructuras de disipación de energía, cámaras de quiebre de presión, estaciones reguladoras de presión, etc.

#### 4.6.6 Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos

El diseño debe contemplar las distancias mínimas que deben existir entre los tubos que conforman la red de conducciones de EPM y los ductos de otras redes de servicios, tal como se establece a continuación:

1. Las distancias mínimas a la red de alcantarillado de aguas residuales deben ser 1.5 m horizontal y 0.3 m vertical.
2. Las distancias mínimas a la red de alcantarillado de aguas lluvias deben ser 1.0 horizontal y 0.3 m vertical.
3. Las distancias mínimas a las redes de alcantarillado combinado deben ser 1.5 m horizontal y 0.3 m vertical.
4. Las distancias mínimas a las redes de teléfono y de energía eléctrica deben ser 1.5 m horizontal y 0.5 m vertical.
5. Las distancias mínimas a las redes domiciliarias de gas deben ser 1.2 m horizontal y 0.5 m vertical.

Si no es posible cumplir con estas distancias mínimas, las tuberías de las redes de conducción de agua potable deben ser revestidas exteriormente con una protección a

todo lo largo de la zona de interferencia como se indica en el Numeral 4.5.6.

## 4.7 REFERENCIACIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONDUCCIONES

El diseñador debe dejar claramente establecido, en todos los planos de diseño, la referenciación de los componentes que conforman la línea de conducción, tanto para el caso de conducciones nuevas como para el caso de ampliación a conducciones existentes. El diseño debe contemplar los siguientes aspectos:

### 4.7.1 Catastro de la red

El diseño debe dejar claramente especificado, en los planos y las memorias de cálculo, todo el catastro de la red de conducciones que forme parte del proyecto de una conducción nueva o de una ampliación. Con respecto al catastro de la red, el diseño debe seguir el sistema de información SIGMA de EPM y todos los aspectos de diseño aprobados por éstas con un máximo de dos años de vigencia.

En todos los casos, las líneas de conducción nuevas o ampliaciones a líneas existentes deben quedar referenciadas a los B.M. de la Oficina de Planeación de EPM o las oficinas de Planeación de los municipios atendidos por EPM.

En caso de que EPM operen otros municipios y que en ellos no existan B.M. en las oficinas de Planeación Municipal, el catastro de la red de conducciones deberá quedar referenciado a los B.M. o a las placas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

### 4.7.2 Referenciación

Para la referenciación de las redes de conducciones o parte de estas, incluyendo todos los accesorios y elementos de control, el diseño debe seguir el “Manual para la

referenciación de redes de acueducto y alcantarillado”, versión vigente<sup>8</sup>. Se debe seguir el Capítulo 19 “Referenciación de las redes de acueducto” de este manual. En particular, se debe seguir el Numeral 19.1 “Tuberías de Acueducto” para la referenciación de tuberías, el Numeral 19.2 “Válvulas” para la referenciación de las válvulas y los Números 19.3 “Accesorios” y 19.4 “Sistemas controladores de presión” para los accesorios.

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.

#### 4.7.3 Sistemas de información geográfica

El diseñador debe propender porque durante la construcción, la operación y las labores de mantenimiento de las líneas de conducción, ya sean nuevas o ampliaciones 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 las características de conectividad con otros programas, en particular los programas de diseño de redes de acueducto.
2. Facilidad de generar entradas a los diferentes modelos de manera simple y rápida, reduciendo las posibilidades de error.
3. Permitir fácilmente la actualización y el seguimiento continuo de la red de conducciones.
4. Alimentarse en forma rápida y simple con cualquier información nueva que

sea generada para la red de conducciones de EPM.

El diseño debe hacer uso de las bases de datos existentes en EPM, del sistema de información geográfico establecido por el SIGMA y debe hacer uso de todos los sistemas y transmisión de datos tipo SCADA, adoptados para la operación del sistema de acueducto de EPM.

#### 4.7.4 Uso de la referenciación en conjunto con las herramientas de tecnología de información

La tecnología de información debe permitir la actualización permanente de la información de las bases de datos y de los sistemas de información geográfica de EPM. Para ello, se debe contar con una referenciación adecuada de los componentes que genere información útil para la actualización.

La información proveniente de la referenciación se debe consolidar en formatos digitales compatibles con las bases de datos y con los sistemas de información geográfica de EPM.

### 4.8 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA DE LA CONDUCCIÓN

El diseñador debe establecer en el protocolo de pruebas aquellas condiciones que se deben medir y se deben cumplir, especificando el grado de precisión de las mediciones, para la puesta en marcha de la conducción, cuando se trate de una línea nueva o ampliaciones a las líneas de conducción existentes.

#### 4.8.1 Pruebas hidrostáticas

Una vez que finalice la instalación de la tubería de la conducción, ésta debe presurizarse hasta la presión máxima de diseño calculada en el numeral 4.4.8 con el fin de verificar su estanqueidad y si existen problemas en las uniones, las juntas, los accesorios, etc. Igualmente debe verificarse el correcto

<sup>8</sup> [http://www.EPM.com/epmcom/contenido/proveedores/manuales/manual\\_aguas/index.htm](http://www.EPM.com/epmcom/contenido/proveedores/manuales/manual_aguas/index.htm)

funcionamiento de los anclajes. Estas pruebas pueden hacerse por tramos de la conducción, aislados mediante válvulas, o instalando tapones diseñados para la presión máxima de la prueba y soportado por anclajes con las dimensiones necesarias para absorber éste esfuerzo generado durante la prueba.

Terminado el procedimiento de llenado y saturación del revestimiento interior, se dará inicio a la prueba elevando la presión cada 70 m.c.a, muy lentamente, continuando ininterrumpidamente, deteniéndose cada múltiplo de 100 para examinar accesorios, anclajes, uniones bridadas, etc., hasta obtener la presión de prueba.

El caudal máximo de agua a inyectar, permisible para mantener la presión de prueba es 1.0 litro/pulgada de diámetro/kilómetro/hora de prueba.

Si se encuentra que la tubería está perdiendo agua, deben existir filtraciones ó fugas que deberán ser controladas y reparadas. Reparadas las filtraciones, se procederá nuevamente con la prueba la cual se dará por terminada cuando se mantenga una presión igual a la de prueba durante un período de cuatro (4) horas continuas en el punto más bajo de la línea, con pérdidas dentro de los parámetros de aceptabilidad indicados.

Es responsabilidad del diseñador establecer la presión de prueba y las recomendaciones para llevar a cabo la prueba hidrostática, lo cual deberá ser aprobado previamente por EPM. Esto deberá estar especificado en cada uno de los planos de diseño.

En cualquier caso las condiciones de pruebas no deben sobrepasar las de diseño para evitar daños en los otros componentes del sistema.

#### **4.8.2 Medición de caudales**

Una vez finalizadas las pruebas hidrostáticas, y después de llenar la zanja en los tramos enterrados de la 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 diseñador, dentro del protocolo de pruebas, debe establecer el tipo de aparatos de medición, su precisión y el nivel de duración de la prueba.

#### **4.8.3 Línea piezométrica de la conducción**

Con el fin de verificar lo establecido por el diseño, y siguiendo el protocolo de pruebas dado por el diseñador, 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.

#### **4.8.4 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 calidad y la cantidad del cloro que debe ser inyectado en cada llave de incorporación. El procedimiento de desinfección debe ser aprobado por EPM.

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 del tubo, 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, 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 bacteriológico. En caso de que la muestra no tenga resultados de calidad de agua adecuados, teniendo en cuenta lo establecido por el Artículo 35, Decreto Nacional 1575 de 2007, de los Ministerios de Vivienda y Medio Ambiente y de Salud y Protección Social, por el cual se expiden las normas técnicas de calidad del agua potable, debe repetirse el proceso de desinfección.

#### 4.8.5 Golpe de Ariete

Teniendo en cuenta lo establecido por el diseñador con respecto al golpe de ariete en la tubería de conducción, 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 EPM, con el fin de comparar con los datos que se obtengan durante todo el período de operación normal de la red.

#### 4.8.6 Accesorios y Válvulas

Una vez finalizada la construcción de la nueva conducción o la ampliación de una conducción existente, se debe verificar la estanqueidad de cada uno de los accesorios contenidos en la línea. Con respecto a las válvulas y otros equipos electromecánicos, debe verificarse su correcto funcionamiento antes de proceder a

cerrar la zanja en la cual se encuentra la tubería enterrada.

#### 4.8.7 Válvulas de lavado y purga

Las estructuras utilizadas para el lavado de las conducciones, con el fin de remover biopelículas o depósitos de partículas inorgánicas, o prevenir el crecimiento de biopelículas, deben someterse al procedimiento establecido en el protocolo de pruebas con el fin de verificar su correcto funcionamiento, midiendo el caudal de lavado en función de la presión en el sitio de descarga.

En todas las válvulas de lavado o purga que existan a lo largo de la línea de conducciones debe verificarse su correcto funcionamiento y debe medirse el caudal y la velocidad de salida del agua, bajo condiciones normales de operación de lavado. El diseño debe establecer el tipo de aparatos de medición, su precisión y la frecuencia de mediciones.

En el caso de descargas que cuenten con estructuras de disipación de energía y canales de descarga a la red de drenaje natural de los municipios atendidos por EPM, debe verificarse el correcto funcionamiento de las estructuras y de los canales, midiendo las velocidades de salida, el nivel de agua en los canales y las velocidades en estos. El diseñador, en su protocolo de pruebas, debe establecer los sitios de medición, los aparatos de medición, su precisión y el número de medidas que deben ser hechas.

#### 4.8.8 Ventosas

En todas las ventosas que existan a lo largo de la línea de conducción deben hacerse 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 C-512.

### 4.9 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN DE LA CONDUCCIÓN

Desde la etapa de diseño, se deben establecer los siguientes aspectos de operación de la conducción, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento de ésta:

#### 4.9.1 Mediciones de caudal

Con el fin de verificar la cantidad de agua que llega al final de cada una de las líneas de conducción y a los tanques de almacenamiento y/o compensación, durante todo el período del diseño del proyecto debe medirse el caudal a la entrada del sistema de conducciones (salida de las plantas de potabilización) y en cada punto de salida de éste, en forma continua y se deben guardar los registros de caudal, con el fin de mantener una base de datos que permita establecer el balance de agua en la red de conducciones de EPM. 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 caudales y el nivel de precisión de las medidas.

#### 4.9.2 Golpe de Ariete

En todas las líneas del sistema de conducciones de EPM, y en particular aquellas que conforman líneas de impulsión de bombes, deben medirse las sobre-presiones y las subpresiones generadas bajo condiciones normales de operación de flujo no permanente, anotando en forma específica la forma de operación de las válvulas y bombas. En este caso es obligatorio el uso de telemetría. 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 las bases de datos de EPM, para alimentar los modelos hidráulicos del sistema de acueducto.

#### 4.9.3 Línea Piezométrica

A lo largo de toda la vida útil del proyecto debe hacerse una revisión de la línea piezométrica o

línea de gradiente hidráulico a lo largo de todas las tuberías de conducción. La medición de la línea piezométrica debe ser permanente, y 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. Para la red de conducciones de EPM es obligatorio tener instrumentación telemétrica a lo largo de toda la línea de conducción, con el fin de que el operador conozca en tiempo real las presiones a lo largo de la tubería para diferentes condiciones de operación. Los registros deben ser guardados en las bases de datos de EPM con el fin de alimentar los modelos hidráulicos de la red de distribución y la red de conducciones de agua potable.

#### 4.9.4 Instrumentación y telemetría en las conducciones

En todos los puntos del sistema de 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 conducción 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.

#### 4.9.5 Reglas de operación para evitar desprendimientos de biopelículas y resuspensión de depósitos inorgánicos

Dentro del diseño de las líneas de conducción o ampliaciones de éstas, debe quedar establecida la forma de obtener reglas de operación para la red de conducciones de EPM.

El objetivo es el establecer reglas para operaciones rutinarias, operaciones especiales tales como la puesta en marcha de una conducción nueva, el reemplazo de una conducción, el mantenimiento de una de las plantas de tratamiento de agua potable de EPM u operaciones de emergencia, de tal forma que no se induzca el desprendimiento de biopelículas y/o la resuspensión de partículas inorgánicas depositadas que deterioren la calidad del agua potable entregada por la empresa.

Las restricciones sobre las cuales se deben establecer las reglas de operación deben estar dadas por EPM. En principio, bajo ninguna operación se debe permitir cambios drásticos de velocidad en las líneas de conducción, no se deben permitir incrementos de velocidad, por encima de la velocidad normal de operación, superiores al ciento por ciento de ésta, y se deben evitar reversas de flujo en las líneas de conducción. En caso contrario, antes de iniciar la operación especial, se debe proceder al lavado de las líneas de conducción.

Para establecer las reglas de operación, el diseño debe establecer el tipo de modelo hidráulico que debe ser utilizado para este propósito, tal como se describe en el Numeral 4.5.2. El modelo hidráulico de la red de conducciones debe estar calibrado de tal forma que permita probar diferentes alternativas de operación, especialmente para operaciones no normales, con el objetivo de escoger aquella que se acerque más a los criterios antes establecidos.

#### 4.9.6 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. Este período debe ser de al menos una vez al año. El lavado de las líneas de conducción debe realizarse, adicionalmente, 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 diseñador 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 3.6 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 establecer cuáles datos, incluyendo su precisión y frecuencia de medición, deben ser almacenados en las bases de datos de EPM, con el fin de alimentar los modelos hidráulicos y permitir la calibración de

estos bajo operaciones de emergencia y/o lavado.

#### 4.9.7 Calidad de agua en las conducciones

La calidad de agua en el sistema de conducciones de EPM debe ser tal que a la entrega de agua al cliente final se de cumplimiento a lo establecido en el Artículo 35, Decreto Nacional 1575 de 2007, de los Ministerios de Vivienda y Medio Ambiente y Salud y Protección Social, o aquel que lo reemplace, sobre calidad de agua en sistemas de acueducto. El diseño debe establecer las metodologías para hacer un análisis permanente de la evolución de la calidad de 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 coeficientes de decaimiento establecidos en el Numeral 4.4.4 de esta norma, o aquellos que establezcan EPM.

Para conocer las condiciones de calidad de agua, se debe utilizar un modelo hidráulico 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 del agua. El modelo hidráulico de simulación de redes de conducciones de agua potable debe tener capacidad de análisis de evolución de la calidad de agua para períodos extendidos, y en particular debe hacer uso del método del gradiente para el cálculo de las condiciones hidráulicas.

#### 4.9.8 Uso de tecnologías de información para la operación de conducciones

La operación de las conducciones se debe modelar en un programa de modelación hidráulica que use el método del gradiente para sus cálculos, que permita la modelación en período extendido y que tenga rutinas de calidad de 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 riesgo de desprendimiento de biopelículas, o como no permitir la inversión de direcciones de flujo, etc.

El modelo hidráulico digital utilizado debe tener en cuenta la altimetría, planimetría, demandas y patrones de consumo de la zona de interés. La topología del modelo debe representar de manera precisa la condición actual de la red. La operación de las conducciones 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.

#### **4.10 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO DE LAS CONDUCCIONES**

En general se debe seguir, para el mantenimiento de la red de conducciones, todo lo establecido en el Sistema de Gestión de Calidad de EPM, para lo cual el diseño debe garantizar la total aplicación de este documento.

Para aquellos municipios atendidos por EPM que no sean parte del Sistema de Gestión de Calidad, el diseño debe tener en cuenta los aspectos mostrados en los numerales 4.10.1 a 4.10.10. Igualmente, cuando dichos aspectos no se encuentren específicamente detallados para aquellos municipios que sí formen parte de dicho sistema, se recomienda la aplicación de dichos numerales.

##### **4.10.1 Mantenimiento correctivo y preventivo**

Todas las estructuras y tuberías que formen parte de la obra de conducción deben tener programas de mantenimiento correctivo y preventivo de acuerdo con los siguientes requisitos:

1. Las labores de mantenimiento deben ser siempre de tipo preventivo. Para esto, el diseño debe considerar las

rutinas de mantenimiento desde la época de concepción del proyecto.

2. Las labores de mantenimiento de todo equipo electromecánico que forme parte de la red de conducciones, debe ser de tipo preventivo.

En el caso de que las labores de mantenimiento impliquen la suspensión del servicio de abastecimiento de agua potable, EPM deben informar a la comunidad sobre los horarios y cortes programados en el suministro de agua. Para esto, el diseño debe establecer, haciendo uso de modelos hidráulicos de la red de distribución, aquellos clientes que van a ser afectados por la suspensión del servicio o por bajas temporales en la presión del suministro de agua potable.

##### **4.10.2 Suspensión del servicio por mantenimiento**

Los mantenimientos programados en EPM no afectan el servicio. En caso de que por un mantenimiento no programado sea necesario suspender el servicio de la conducción, ésta debe limitarse a un período máximo de 18 horas en las zonas afectadas del municipio.

##### **4.10.3 Registro de mantenimientos**

Siempre que EPM hagan labores de mantenimiento en las conducciones, deben cumplirse los siguientes requisitos:

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. 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. EPM debe llevar una base de datos con los registros históricos de los daños ocurridos en la conducción así como de los mantenimientos preventivos que se hagan en ésta.

#### 4.10.4 Disponibilidad de repuestos

En el caso de que se requieran repuestos para labores de mantenimiento de las estructuras y/o accesorios que conforman las conducciones, debe tenerse en cuenta que la consecución y localización in situ de los repuestos debe ser inmediata para aquellos casos que impliquen 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 hacerse como máximo en un día.

#### 4.10.5 Válvulas de purga

Con el fin de mantener un control efectivo y un perfecto estado de funcionamiento de las válvulas de purga en las tuberías de conducción, debe tenerse en cuenta, desde la etapa de diseño, que la apertura de válvulas de purga se haga de forma periódica y con base en los criterios de operación.

#### 4.10.6 Verificación de asentamientos en los anclajes

En el caso de que el diseño del sistema de conducción o una ampliación de éste incluya tuberías presurizadas en las cuales existan tramos por encima del nivel del terreno, deben verificarse los asentamientos de los anclajes en uniones, codos, válvulas y otros tipos de accesorios una vez cada 3 meses como mínimo. Sin embargo, si la línea de conducción cruza terrenos inestables, terrenos con una alta actividad tectónica o que el municipio se encuentre localizado en una zona de amenaza sísmica media o alta, durante los primeros tres años de operación de la nueva conducción deben verificarse los asentamientos de los anclajes al menos una vez al mes.

#### 4.10.7 Limpieza de tuberías y desprendimiento de biopelículas y/o depósitos inorgánicos

El diseño de las líneas de conducción o ampliaciones 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 el corregir los períodos de lavado, cuando esto sea necesario.

Una vez lavada la tubería se debe proceder a desinfección química de ésta con cloro, cloramina, ozono, dióxido de cloro, yodo o peróxido de hidrógeno.

#### 4.10.8 Limpieza de canales de descarga y estructuras de disipación de energía

En el caso de los canales de descarga y las estructuras de disipación de energía localizadas aguas abajo de las válvulas de descarga, el diseño 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.

#### 4.10.9 Mantenimiento de accesorios

Para el caso de los accesorios que formen parte de la estructura de la línea de conducción, se requieren las siguientes labores de mantenimiento: en el caso de las válvulas, debe verificarse el estado, la apertura y el cierre de válvulas, purgas, ventosas, compuertas, etc. al menos una vez cada mes. 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. En el caso de bombas y estaciones de bombeo debe

seguirse lo establecido en el Capítulo 6 de la presente norma.

#### **4.10.10 Uso de tecnologías de información para labores de mantenimiento**

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 red de conducciones. 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.

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 de que existan cambios en esta

información, ésta debe ser enviada al Sistema de Información Geográfico del SIGMA de EPM.

#### **4.10.11 Aspectos ambientales en la Operación y Mantenimiento**

Los impactos más relevantes que se puedan presentar son debidos a la intervención de trabajadores y equipos mecanizados, con alteración de la vegetación y del suelo.

Si la operación se hace en zona rural o suburbana, el diseño debe incluir lo relacionado con el acceso y anchos de servidumbre para las inspecciones y labores de operación y mantenimiento. Estos accesos deben ser diseñados lo más cerca posible a la línea de conducción y deben tener el ancho necesario para evitar que la movilización del equipo y maquinaria de mantenimiento, altere el suelo y la vegetación de la zona.

## **Anexo 4.1 GOLPE DE ARIETE EN CONDUCCIONES**

### **A.4.1.1 Análisis del golpe de ariete**

Para el análisis del golpe de ariete en el diseño deben considerarse los siguientes casos:

1. Se debe hacer el análisis para tuberías nuevas que van a operar por bombeo.
2. El análisis debe hacerse para tuberías nuevas que van a operar por gravedad.
3. En las instalaciones de conducciones existentes en las que el objeto de diseño sea una ampliación debido a un aumento en la demanda o a una mejora en la confiabilidad del sistema, en las que se coloquen bombas nuevas, en las que se proyecten tanques nuevos o en las que existan variación de presión en cualquier sección de la línea de conducción.
4. El análisis del golpe de ariete debe hacerse para las instalaciones existentes cuando haya cambios en las condiciones normales de operación y/o en las condiciones excepcionales de operación.
5. El análisis de golpe de ariete se debe hacer en las instalaciones existentes que van a ser incorporadas a un nuevo sistema, aún cuando no sufran modificaciones de ninguna naturaleza.

### **A.4.1.2 Estudio de alternativas**

Para el estudio del golpe de ariete el diseño debe probar los diferentes tipos de dispositivos de control, con el fin de seleccionar aquel que ofrezca la mayor protección posible para un nivel de inversión dado.

Los dispositivos que pueden ser considerados desde la etapa de diseño de las conducciones, para el control del golpe de ariete son: válvulas de retención, válvulas con contrapeso de una o dos velocidades de cierre, válvulas de alivio, cámara presurizada de aire, ventosas de doble efecto de alivio regulado, tanques de

compensación unidireccionales, almenaras, volantes de inercia, tanques hidroneumáticos, rotación en sentido inverso de las bombas centrífugas con cierre lento de válvulas, válvula anticipadora y válvulas de alivio.

Deben calcular al menos tres alternativas, cuantificarlas numéricamente y costearlas.

### **A.4.1.3 Condiciones para el cálculo del golpe de ariete**

El diseñador debe hacer el análisis del golpe de ariete en las tuberías de conducción para las condiciones normales de operación, para las condiciones excepcionales ocasionadas por mantenimientos o emergencias o para cambios importantes en las condiciones de operación.

Las condiciones para el cálculo del golpe de ariete son las siguientes:

1. Condiciones normales de operación por bombeo.  
En las conducciones que conformen líneas de impulsión de bombeos se consideran como condiciones normales de operación las siguientes:
  - a. El funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección y control de golpe de ariete previsto en la etapa de diseño.
  - b. La interrupción súbita del bombeo.
  - c. Inicio del bombeo hacia el tanque de almacenamiento y/o compensación.
  - d. Las maniobras de cierre o apertura de válvulas de control o de cierre que existan en la conducción.
  - e. La ocurrencia de las conducciones especiales establecidas en todas las estaciones de bombeo de un sistema complejo.
2. Condiciones excepcionales en conducciones que conformen líneas de impulsión de bombeos.  
En los sistemas por bombeo se consideran como condiciones excepcionales las siguientes:

- a. La falla de cualquiera de los dispositivos de protección y control del golpe de ariete.
  - b. Las maniobras inadecuadas en las válvulas, que estén en desacuerdo con las reglas de operación especificadas por el diseño.
  - c. La ruptura de la tubería en la sección de máxima presión bajo régimen de flujo permanente.
  - d. 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 conducciones trabajando por gravedad. Se consideran como condiciones normales de operación de una conducción por gravedad las siguientes:
    - a. El funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección y control contra el golpe de ariete previstos desde la etapa de diseño.
    - b. Las maniobras de cierre y apertura de las válvulas de control y de cierre existentes en la tubería de la conducción.
  4. Condiciones excepcionales en las conducciones trabajando por gravedad. Las condiciones excepcionales en una conducción trabajando por gravedad son las siguientes:
    - a. La falla en cualquiera de los dispositivos de protección y control contra el golpe de ariete.
    - b. Las maniobras inadecuadas de las válvulas, en desacuerdo con las reglas de operación establecidas en el diseño del proyecto.
    - c. La ruptura de la línea de conducción en la sección de máxima presión bajo una condición de flujo permanente.

#### A.4.1.4 Presiones máximas y esfuerzos a ser absorbidos

En las tuberías de la conducción que incluyan los dispositivos de control enumerados en el Numeral 4.5.7, las presiones internas máximas en la tubería no pueden exceder los siguientes valores:

1. Para las condiciones normales de operación de la conducción, las presiones internas no podrán exceder el valor de la presión admisible para cada material y para cada clase de tuberías y de conexiones, juntas, bombas, válvulas y todos los demás accesorios que se encuentren presentes en el diseño de la conducción.
2. En las condiciones de operación excepcional, el valor de 1.5 veces la presión admisible obtenida para cada material y para cada uno de los accesorios colocados en la tubería de conducción.
3. En las condiciones normales y excepcionales, las presiones utilizadas para el cálculo de los empujes hidrostáticos aplicados a las estructuras de anclaje de las tuberías, conexiones y equipos.

La presión admisible a que se hace referencia en el presente numeral es, para el caso de las tuberías de conducción metálicas, 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, las válvulas y los accesorios. En los demás casos, es la presión de ensayo hidráulico de las tuberías, dividida por un coeficiente de seguridad no inferior a 2.5. Si las tuberías, las conexiones y demás accesorios ya tienen definidos por norma su presión y esfuerzos máximos admisibles, estos valores serán los utilizados, previa aprobación de EPM.

En ningún caso la presión de ensayo hidráulico podrá ser inferior a la presión dada por la Ecuación 4-2.

En aquellas conducciones que sean proyectadas sin dispositivos de control, los esfuerzos originados por el fenómeno de 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 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 tuberías, accesorios, equipos y todo tipo de juntas.
2. No existan condiciones de operación excepcionales o de emergencia.
3. La presión interna máxima no exceda 1.25 veces la presión de servicio en fenómenos de transiente que ocurran máximo dos veces por año.

En todos los casos arriba citados debe estar justificado el costo mínimo y la seguridad con relación a los costos que se obtendrían dotando la instalación de la conducción de un dispositivo de control de golpe de ariete y de seguridad.

#### A.4.1.5 Presiones mínimas

Las presiones mínimas calculadas desde el diseño, debidas al fenómeno de golpe de ariete, que ocurran en cualquier sección de la conducción, deben ser mayores que la presión subatmosférica admisible.

Esta presión corresponde a la presión absoluta del vapor de agua a la temperatura ambiente restado de la temperatura ambiente local; para el caso de las EPM se debe utilizar un valor de presión de vapor igual a 1.7 KPa.

En caso de que el diseño de la conducción contemple 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 1.7 KPa para cualquier condición de operación.

#### A.4.1.6 Celeridad de la onda de presión

Para calcular la celeridad de la onda de presión causada por el fenómeno de golpe de ariete, el diseño debe utilizar la siguiente ecuación:

$a = \frac{\sqrt{E/\rho}}{\sqrt{1 + \frac{E \cdot D \cdot (1 - \mu_p^2)}{E_p \cdot e_p}}}$	<b>Ecuación A.4.1.1</b>
--------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------

donde

- $a$  = Celeridad de la onda de presión (m/s)
- $E$  = Módulo de compresibilidad del líquido (GPa)
- $\rho$  = Densidad del agua (Kg/m<sup>3</sup>)
- $D$  = Diámetro de interno real de la tubería (m)
- $\mu_p$  = Relación de Poisson de un material
- $E_p$  = Módulo de elasticidad de un material (Pa)
- $e_p$  = Espesor de pared de la tubería (m)

Para el cálculo del módulo de elasticidad del material del que está fabricada la tubería debe utilizarse la Tabla A.4.1-1 mostrada a continuación. Los valores de otros materiales deben ser especificados por el fabricante, y deben ser aprobados por EPM.

**Tabla A.4.1-1. Módulo de elasticidad para materiales de tuberías (Adaptada del Título B del RAS 2000)**

<i>Material</i>	<i>Módulo de elasticidad <math>E_p</math> (GPa)</i>
Acero	206,8
Hierro dúctil	165,5
PVC	2,75
Fibra de vidrio reforzada (radial)	10 - 33
Fibra de vidrio reforzada (axial)	8,96
CCP	$3,9 (f'c)^{1/2}$
Polietileno corto plazo	0,9
Polietileno largo plazo	0,2

Adicionalmente, para el GRP por tratarse de un material compuesto, el módulo de elasticidad es variable dependiendo de la clase de rigidez y presión de la tubería, estos valores se deben consultar con el proveedor.

#### A.4.1.7 Período del golpe de ariete

El período del golpe de ariete es el tiempo que una onda de presión necesita para recorrer toda la longitud de 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:

$\tau = \frac{2 \cdot L}{a}$	<b>Ecuación A.4.1.2</b>
------------------------------	-------------------------

donde

$L$  = Longitud de la tubería (m)

$a$  = celeridad de la onda de presión (m/s)

#### A.4.1.8 Métodos de cálculo de golpe de ariete en sistemas por bombeo

En caso de que la conducción esté conformada por la línea de impulsión de un bombeo, el diseño debe contemplar el cálculo del golpe de ariete 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 las tuberías en sus cotas más elevadas.
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 conducción 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 que conformen la línea de conducción.

6. Que el tiempo para alcanzar el inicio de la reversión de la bomba sea menor que el tiempo del período del golpe de ariete.
7. Que el tiempo del cierre de la válvula de control sea menor que el período del golpe de ariete.
8. Que el tiempo del cierre automático de las válvulas sea menor que 20 segundos.

En las instalaciones de conducciones por bombeo en las que la tubería de succión sea corta o la pérdida de altura a lo largo de la tubería de impulsión puede ser despreciada para efecto del golpe de ariete, o las bombas son centrífugas y están equipadas con válvulas de retención en las secciones de salida y/o la paralelización de las bombas ocurre por una interrupción en el suministro de energía eléctrica, el cálculo del golpe de ariete puede ser por el método de las características, el método de los elementos finitos, utilizando ambos la teoría de la columna elástica, o mediante el análisis de golpe de ariete por columna rígida, exceptuando lo establecido en los siguientes dos casos:

1. El método del 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 hubieran ventosas, o inferiores a la presión de vapor del líquido a temperatura ambiente (1.7 KPa) en secciones sin ventosas; en este caso ocurrirá la separación de la columna de agua y por consiguiente no prosiguen los cálculos del golpe de ariete.
2. El método de cálculo debe 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 distinto de las

válvulas de retención desde que sea trazada una línea piezométrica con una carga mínima obtenida antes de anular el caudal de las bombas.

#### **A.4.1.9 Métodos de cálculo del golpe de ariete en conducciones por gravedad**

En las tuberías de conducción que operen por gravedad, el diseño debe incluir el cálculo del golpe de ariete por el método de las características o por el método de los elementos finitos, utilizando la teoría de columna elástica, siempre que alguna de las siguientes condiciones ocurra parcial o totalmente:

1. Separación de la columna en las secciones del perfil de la conducción de cotas más elevadas, en caso de posibles rupturas o durante maniobra de válvulas para operaciones de emergencia.
2. Necesidad de un menor tiempo mínimo del cierre de válvulas para interrupción del flujo para las condiciones normales y las operaciones de emergencia.
3. Maniobra de una válvula de control de caudal con grandes variaciones de velocidad como función del tiempo.
4. Presiones internas actuantes que excedan los  $2/3$  de la presión admisible especificada para cada clase de tubería, con sus conexiones y accesorios.

## Capítulo 5 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 los tubos, nudos, válvulas de control, válvulas reguladoras de presión, ventosas, hidrantes y otros accesorios necesarios para la correcta operación del sistema y del cual se derivan las acometidas domiciliarias.

### 5.1 ALCANCE

En este capítulo se establecen los criterios básicos, los aspectos específicos y los requisitos mínimos que debe cumplir el diseño de las redes de distribución de EPM, con el fin de garantizar la seguridad, la confiabilidad, la durabilidad, la funcionalidad, la calidad del agua, la eficiencia, la sostenibilidad y la redundancia del sistema.

En este capítulo se incluyen los estudios previos, las condiciones generales, los parámetros de diseño, el diseño hidráulico de las redes y accesorios. También se incluyen aquellos aspectos que desde el diseño tengan influencia sobre los procesos de construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de todas las estructuras y accesorios que conforman la red de distribución.

La Tabla 5-1 muestra un esquema del contenido de este capítulo:

### 5.2 ESTUDIOS PREVIOS

#### 5.2.1 Concepción del proyecto

Durante la concepción del proyecto de diseño de las redes de distribución y sus variantes deben definirse los criterios técnicos y económicos que permitan comparar todas las alternativas posibles para la red de distribución

a partir de los datos de campo, de los datos geológicos y de los datos de consumo de la población que será abastecida por el proyecto objeto del diseño.

Tabla 5-1 Esquema del contenido del Capítulo 5 "Redes de distribución"

<b>Componente</b>	<b>Numeral</b>
Estudios previos	5,2
Condiciones generales para las redes de distribución	5,3
Parámetros de diseño	5,4
Diseño de las redes de distribución	5,5
Otras consideraciones de diseño	5,6
Accesorios y estructuras para las tuberías de la red de distribución	5,7
Referenciación de componentes	5,8
Urbanizaciones	5,9
Aspectos de la puesta en marcha de redes de distribución	5,10
Aspectos de la operación de redes de distribución	5,11
Aspectos del mantenimiento de redes de distribución	5,12

- Las redes de distribución deben diseñarse con todas las estructuras y facilidades necesarias para garantizar que la calidad de agua que llega a los clientes cumpla con el Artículo 35, Decreto Nacional 1575 de 2007, de los Ministerios de Vivienda y Medio Ambiente y de Salud y Protección Social, por el cual se expiden las normas técnicas de calidad del agua potable o aquel que lo reemplace. Además debe proveer suficiente agua para cubrir todos los tipos de uso incluyendo el caudal contra incendios en cualquier punto de la red.

La concepción del diseño del proyecto de la red de distribución debe incluir, entre otras, las siguientes actividades:

- a. Definición de los caudales actuales y futuros para el correcto dimensionamiento de la red de distribución.

- b. Verificación de que la red a diseñar se encuentre dentro del perímetro de servicio definido por EPM.
- c. Delimitación clara de los circuitos hidráulicos en que se va a dividir la red de distribución, estableciendo las diferentes zonas de presión y definiendo la presión de entrada óptima a cada subcircuito.
- d. Localización y dimensionamiento de los equipos y accesorios destinados al funcionamiento y la operación del sistema de distribución de agua potable, en particular, aquellos necesarios para el aislamiento de los circuitos hidráulicos.
- e. Fijación de las capacidades de los tanques de compensación localizados inmediatamente aguas arriba de las redes de distribución.
- f. En caso de ampliaciones, análisis hidráulico del sistema de distribución de agua potable existente, con el objetivo de aprovechar eficientemente las tuberías y otras estructuras existentes.
- g. El trazado de los conductos principales y secundarios de la red, incluyendo la forma de aislamiento de los diferentes circuitos de la red con el fin de llevar a cabo operaciones de reparación y/o mantenimiento.
- h. Dimensionamiento de cada una de las tuberías de la red, estableciendo su diámetro interno real y su rugosidad absoluta. En caso de que el diseño involucre la ampliación de una red de distribución debe establecerse claramente cuáles de los tubos existentes deben ser redimensionados y cambiados.
- i. Optimización del diseño de la red de distribución, incluyendo el análisis de costo mínimo y la optimización económica de los diámetros que conforman la red de distribución respetando las restricciones hidráulicas de caudal demandado en cada uno de los nudos y de presión mínima en la red de distribución.
- j. Estimación de los costos de construcción, de operación a lo largo de la vida útil del proyecto y de mantenimiento del sistema de distribución.
- k. Definición de las etapas de ejecución del diseño de la red de distribución de agua potable durante su etapa de construcción.

### 5.2.2 Diagnóstico de la 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 red de distribución que se va a desarrollar, tales como calles, avenidas, puentes, vías de metro y ferrocarril, líneas de transmisión de energía eléctrica, sistemas de alcantarillado y cualquier otra obra de importancia. El análisis de la infraestructura existente debe incluir un estudio sobre el sistema de redes de distribución, 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.

### 5.2.3 Estudio de la demanda

El diseñador debe conocer los estudios de demanda de agua para la zonas del municipio objeto del diseño de la red de distribución que hayan sido realizados por EPM, tanto de la situación actual como futura, o en su defecto debe realizar estos estudios siguiendo lo establecido en el Capítulo 3 “Población, Dotación y Demanda” de esta norma.

### 5.2.4 Distribución espacial de la demanda

El diseñador debe conocer la variación espacial de la demanda en la zona del municipio objeto del diseño de la red de distribución, atendiendo los diferentes usos del agua, las densidades de población, la población de saturación, la estratificación de los servicios públicos, los usos del suelo y establecer para cada zona la demanda teniendo en cuenta el análisis de las variables antes mencionadas.

En el caso de ampliaciones a redes de distribución existentes y con el fin de establecer el caudal demandado en cada uno de los nudos de la red objeto de la ampliación, se debe establecer lo siguiente:

1. La localización espacial en coordenadas x, y y z de cada uno de los clientes dentro de la zona objeto del diseño, obtenida del SIGMA o mediante el uso de un georreferenciador definido por EPM.
2. El caudal de consumo de cada uno de los clientes, obtenido de la base de datos comercial de EPM, con el fin de amarrar estos consumos al nudo de consumo correspondiente para proceder al diseño optimizado de la red de distribución según se establece en el Numeral 5.4.13.

### 5.2.5 Aspectos generales de la zona de la red de distribución

El diseñador debe conocer todos los aspectos generales de la zona del municipio que va a ser abastecida por la red de distribución objeto del diseño. En general, debe conocer los regímenes de propiedad y los usos generales de la zona, así como los requisitos básicos sobre tipos de clientes 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 diseñador debe conocer toda la información planimétrica existente en EPM, en particular en el sistema de información geográfica del SIGMA, así como la información planimétrica existente en otras oficinas municipales o departamentales.

Como mínimo el diseñador 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 nudos de la red de distribución.
- c. Las calles y carreras existentes y las aprobadas en el Plan de Desarrollo Vial del municipio.
- d. Las vías de ferrocarril, las vías de metro, las vías de alto tráfico, las autopistas existentes y 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 se encuentre prohibido en el Plan de Ordenamiento Territorial.
- g. El ancho de las servidumbres debe ser el mínimo que permita en forma cómoda realizar las tareas de inspección y mantenimiento de la línea de distribución y que garantice la seguridad de la infraestructura de las redes de distribución y de las construcciones aledañas. El ancho de servidumbre debe ser mínimo de 3 m en la proyección horizontal, garantizando siempre una distancia mínima de 1,5 m a ambos lados del eje de la tubería; esta distancia depende del diámetro de la tubería, de las condiciones de instalación, de la facilidad de acceso, de la pendiente, de la circulación del tráfico en la vía y del espacio para maniobras de los equipos. La servidumbre debe estar libre de cualquier tipo de construcciones en altura o elementos de amoblamiento urbano. La localización de la servidumbre debe estar plasmada en los planos de diseño y construcción. El diseño también debe incluir las recomendaciones relacionadas con labores de mantenimiento que se deben hacer a estas servidumbres de acuerdo con sus condiciones y al tipo de intervenciones que se pueden hacer en ellas.
- 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. Los puentes, viaductos, pasos sobre cursos de agua, vías públicas y otras obras de infraestructura.
- j. 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.
- k. La información topográfica del sistema de distribución de agua potable existente, en caso de que se trate de una ampliación de la red de distribución.
- l. La localización de otras redes de diferentes 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, las redes de energía, las redes de datos y las redes de televisión por cable.
- m. Usos del suelo de acuerdo con lo establecido en el POT.

### 5.2.6 Estudios topográficos

Para propósitos de diseño, el diseñador debe recopilar entre otra, la siguiente información topográfica:

1. Planos aerofotogramétricos de la zona del municipio donde va a diseñarse, construirse o ampliarse la red de distribución.
2. Planos de catastro de todas las obras de infraestructura existente de la zona del municipio objeto del diseño.
3. Fotografías aéreas existentes para la zona del municipio objeto del diseño, que incluyan claramente la zona donde va a diseñarse, construirse o ampliarse la red de distribución.
4. Los planos de catastro o inventario de las redes existentes de distribución de agua

potable que tengan relación con la red objeto del diseño. En particular debe tenerse en cuenta la localización de las redes de conducciones y/o los tanques de almacenamiento y/o compensación desde los cuales se alimentará la red de distribución.

5. El levantamiento topográfico planimétrico de la zona del municipio objeto del diseño, o de sus áreas de expansión, en el sistema de información geográfica del SIGMA de EPM.

En caso de que no exista el levantamiento topográfico, el diseñador debe seguir lo establecido en el manual de topografía de EPM, “Alcances del trabajo y especificaciones para los levantamientos o localizaciones de trabajo de topografía en la investigación para diseño de redes de acueducto y/o alcantarillado, conducciones, impulsiones y obras civiles (plantas de tratamiento, tanques, estaciones de bombeo, edificaciones, etc.)”, con el fin de hacer los levantamiento necesarios para el diseño de la red de distribución. Se debe utilizar la versión del manual de junio de 2007, o aquella que la reemplace.

En aquellos casos en que existan planos, se recomienda hacer levantamientos reales en campo, con propósitos de verificación.

### 5.2.7 Condiciones geológicas

El diseñador debe conocer todas las condiciones geológicas y las características del subsuelo en las zonas de trazado de la red de distribución. 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 trazado que crucen zonas claramente identificadas como zonas de deslizamiento para las redes de distribución.

El especialista en la materia debe conocer específicamente el nivel de amenaza sísmica

de la zona por donde cruzará la red de distribución. En particular debe tenerse en cuenta lo establecido en el reglamento colombiano de construcción sismorresistente NSR-10, o la normatividad vigente, con respecto a los niveles de amenaza sísmica de las diferentes zonas del territorio de los municipios atendidos por EPM. El diseñador debe basarse en los estudios de suelos y geotécnicos que efectúen los especialistas en la materia y determinar las obras que sean necesarias para garantizar la estabilidad de las redes.

### 5.2.8 Calidad de agua

Antes de realizar el diseño de una red de distribución nueva o una ampliación a una red existente, el diseñador debe conocer las características de 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 EPM sobre las características de calidad del agua. En caso de que se considere necesario o no exista ningún tipo de información sobre calidad de agua, se debe hacer uso de un programa de modelación de calidad de agua en la red.

### 5.2.9 Estudio de suelos

En todos los casos se debe considerar el concepto de un especialista en Geotecnia con la experiencia establecida en el RAS, que indique aquellos estudios que se requieren para el proyecto de acueducto y/o alcantarillado, acorde con lo establecido en los Títulos A, y G, del RAS 2000, o aquel que lo reemplace.

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 la resolución 1096 de noviembre 17 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico, en su artículo 192, "Consideraciones sísmicas de los diseños geotécnicos". 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 la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR-10 – Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998, o los decretos que lo reemplacen o complementen, específicamente lo referente a excavaciones no permanentes, propias de las labores de instalación de tuberías.
4. El diseño debe recopilar la información sobre sondeos que existan en EPM y que hayan sido hechos para el desarrollo o construcción de otras obras en la zona del municipio objeto del diseño de la red de distribución.
5. El diseñador puede realizar apiques para conocer las condiciones y características del suelo cuando no se tenga una previa información sobre éste, o para conocer el estado real de la tubería en caso de una reposición de redes.

### 5.2.10 Interferencia con otras redes y corrientes eléctricas

Cuando el trazado de la red de distribución cruce o esté cerca redes de gas, energía, telecomunicaciones, redes de alcantarillado y/o cualquier tipo de red o acometida, el diseño

debe prever las protecciones necesarias para evitar daños en las tuberías, según se indica en el Numeral 5.5.6

Cuando el trazado de la red de distribución cruce o esté cerca redes eléctricas, líneas del metro y líneas de alta transmisión, el diseñador debe estudiar la magnitud de las corrientes parásitas con el fin de seleccionar el material apropiado para la tubería de la red o su protección necesaria contra los problemas de corrosión inducido por corrientes eléctricas. En todo caso se debe seguir lo establecido en el Numeral 4.5.6 sobre los materiales y protección adecuada para las tuberías, en aquellos casos donde se presenten interferencias con corrientes eléctricas y/o el trazado de la red cruce redes de gas o redes de alcantarillado.

### 5.2.11 Aspectos ambientales en la etapa de Planeación y Diseño

Durante la etapa de Planeación y Diseño, se debe realizar el trámite de las licencias y permisos necesarios y requeridos para llevar a cabo la ejecución de las obras de redes de distribución; los impactos mínimos a tener en cuenta son:

- a. Problemas de tráfico vehicular y peatonal.
- b. Emisión de ruidos.
- c. Emisión de material particulado.
- d. Posibilidad de accidentes.
- e. Alteración del paisaje urbano.
- f. Remoción de árboles, prados y jardines.
- g. Demolición de pavimentos, calzadas y andenes.
- h. Daños en otros servicios públicos.

## 5.3 **CONDICIONES GENERALES PARA LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN**

Para el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de las redes de distribución de EPM, el diseñador debe identificar las alternativas de distribución de agua, por

gravedad, por bombeo y mixtas, teniendo en cuenta un análisis de costo mínimo. Además, el diseño debe tener en cuenta las siguientes condiciones generales:

### 5.3.1 **Recomendaciones sobre el trazado de la red de distribución**

#### 5.3.1.1 **Recomendaciones generales**

Hasta donde sea posible el diseño de las redes de distribución debe tener como objetivo el que ésta se instale en terrenos de propiedad pública, evitando interferencias con complejos industriales, vías de tráfico intenso, redes eléctricas, tuberías principales de red de gas, colectores del sistema de alcantarillado, instalaciones aeroportuarias, etc. En particular, 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 de que la red de distribución deba instalarse por zonas privadas se debe constituir una servidumbre a favor de EPM. Desde la etapa de diseño, mínimo debe elaborarse un contrato de promesa de compraventa para la servidumbre, la cual debe estar constituida antes del inicio de la construcción del proyecto.
2. 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.
3. El trazado de la red debe evitar interferencias con aquellos servicios públicos domiciliarios cuya red sea de difícil relocalización o presente dificultades técnicas importantes.
4. Las tuberías principales de la red de distribución deben ubicarse cerca de los grandes consumidores y de las áreas de mayor consumo específico.
5. El trazado debe evitar alineamientos junto a quebradas o cañadas del sistema de drenaje urbano de los municipios atendidos por EPM, debido a que allí particularmente existen concentraciones de redes de alcantarillado de aguas lluvias y aguas residuales, así como la

presencia de suelos aluviales y con niveles freáticos elevados. Adicionalmente, las zonas cercanas a las quebradas en laderas pueden presentar problemas importantes de suelos inestables.

6. Siempre deben buscarse rutas con topografía suave, evitando piezas y accesorios especiales.
7. Durante la ejecución de la obra, el trazado debe minimizar los desvíos e interrupciones del tráfico.
8. El trazado también debe propender por minimizar la cantidad de rotura y reconstrucción de pavimentos.
9. El trazado debe reducir al mínimo las interferencias con las redes de servicios públicos existentes y proyectadas durante el período de construcción.
10. En lo posible, debe evitarse ubicar tuberías nuevas en las calles que ya tengan implantadas tuberías de acueducto de diámetros mayores que 200 mm. Se debe exceptuar el caso en que las tuberías existentes sean parte de la red de conducciones.

### 5.3.1.2 Recomendaciones específicas

Además de las recomendaciones generales, para el trazado de una red de distribución para un circuito o un subcircuito, el diseñador debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones específicas:

1. Para la instalación de tuberías nuevas con diámetros mayores que 300 mm, deben evitarse 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 Numeral 5.5.6, 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 que 15 metros.
  - 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 implantación de una red doble.
  - d. Cuando exista separador central.
  - e. Cuando las condiciones particulares del proyecto lo exijan, previa aprobación de EPM.

### 5.3.1.3 Recomendaciones para evitar puntos muertos en la red

El trazado definitivo de la red de distribución debe evitar, hasta donde sea posible, la presencia de puntos muertos en la red debido a los problemas de calidad de agua que dichos puntos causan. 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 esta norma.
2. El diseño de debe estar conformado por circuitos cerrados de tuberías. De todas formas, el diseñador 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 hacer haciendo uso del modelo hidráulico de la red de distribución. En caso de no cumplir con la velocidad mínima se debe tener en cuenta lo indicado en el siguiente numeral, para garantizar la calidad del agua.

3. En caso de que en alguna zona del circuito o subcircuito 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 de 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, a través de un sumidero, previa verificación de la capacidad de la red. En ningún caso se permite que la red de distribución termine en un cliente. En el diseño se debe verificar la calidad de agua que llega a los últimos clientes, 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 de 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.

### 5.3.2 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.

Adicionalmente, para el cálculo de la red de distribución deben tenerse en cuenta, desde la etapa de diseño, los siguientes puntos:

1. La red de distribución debe considerar las distintas etapas del proyecto, así como los caudales correspondientes estimados para cada una de ellas.
2. Para el cálculo de la red de distribución debe considerarse la zona urbana actual, de acuerdo con sus densidades actuales y futuros y con los caudales resultantes correspondientes. Adicionalmente, se deben hacer los cálculos para la población proyectada en el período de diseño y se debe verificar si durante este período se alcanza la población de saturación dada por el Plan de Ordenamiento Territorial de los municipios atendidos por EPM. En caso de que ésta última población sea superior a la proyectada, la población de saturación debe ser la utilizada para el diseño, de acuerdo con lo establecido en el capítulo 3 de esta norma.
3. Para el diseño deben considerarse los siguientes tipos de ocupación del suelo en la definición de las áreas específicas por abastecer:
  - a. Áreas residenciales
  - b. Áreas comerciales
  - c. Áreas industriales
  - d. Áreas oficiales
  - e. Áreas verdes o parques
  - f. Áreas mixtas
  - g. Áreas especiales
4. Para la definición de los caudales de la red de distribución de agua potable, el diseño debe tener en cuenta aquellos consumidores individuales considerados como grandes consumidores y aquellos puntos que sean importantes para la protección contra incendios.
5. La estimación de los caudales de consumo para los diferentes tipos de clientes, se debe hacer en la siguiente forma:
  - a. Para los clientes que ya tengan información de consumo, el diseño

- se hará con el consumo medio mediante el análisis de los datos de medición. Estos datos se deben obtener de la base de datos comercial de EPM
- b. En aquellos municipios que vayan a ser atendidos por EPM que no tengan datos de consumo, se deben utilizar los datos de poblaciones semejantes próximas, considerando el grado de semejanza de las condiciones socioeconómicas.
  - c. Los grandes consumidores ubicados dentro de la red de distribución deben ser definidos mediante encuesta en la que deben constar los consumos iniciales y los consumos futuros de éstos.
6. 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 ella se debe definir el número de hidrantes y su caudal unitario de acuerdo con el Numeral 3.8 de esta norma.

### 5.3.3 Delimitación de sectores hidráulicos

Todo diseño de una red de distribución de agua potable para EPM debe subdividirse en cuantas zonas de presión sean necesarias para cumplir con las condiciones de presión máxima y presión mínima en todos los puntos de la red, según se establece en el Numeral 5.4.7. El establecimiento de las zonas de presión se hace con el fin de obtener la máxima uniformidad en la superficie de gradiente hidráulico o superficie piezométrica entre los tanques o estaciones de bombeo y los puntos de mínima presión de la red. La división en zonas de presión se debe hacer mediante válvulas reguladoras de presión.

Adicionalmente, el diseño debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. En aquellas áreas que estén ubicadas en terrenos altos de una zona de presión, dentro del área de cubrimiento de EPM, y cuyo abastecimiento normal implicaría tener presiones muy altas en las partes bajas de dicha zona, se debe tener en lo posible, una red paralela exclusiva para esta área que se derive de la red principal desde un punto aguas arriba de la estación reguladora de presión.
2. Dentro de una misma zona de presión se podrán presentar presiones estáticas mayores que la máxima definida y presiones dinámicas menores que la mínima fijada, siempre y cuando se cumplan con las condiciones establecidas en el Numeral 5.4.7.
3. Las presiones de cada zona de presión de la red de distribución deben quedar definidas utilizando la ubicación de los tanques de almacenamiento y/o compensación, buscando que la superficie de gradiente hidráulico tenga su presión mas elevada cerca al tanque y su presión mínima en el punto más alejado de éste.
4. La distribución debe hacerse a partir de un tanque elevado, cuando en la zona de presión exista un lote sin la cota suficiente para garantizar las condiciones de presión necesarias para el correcto funcionamiento de la red en última instancia mediante un bombeo aprobado por EPM.
5. Para los proyectos que incluyan regulación o variaciones en las presiones en sectores hidráulicos existentes, se deberá incluir desde el diseño la estimación de la variación de las condiciones de presión a los usuarios, para lo cual se deberá tener en cuenta el tipo de edificaciones

existentes en el sector hidráulico a regular, identificando su ubicación, el número de pisos, existencia de o no de bombeos requeridos y tipo de uso.

### 5.3.4 Sectorización del servicio

El diseño de la red de distribución debe considerar la división de ésta en circuitos y subcircuitos de presión, mediante el uso de válvulas reguladoras de presión, cuando se requiera un quiebre de presión, o mediante válvulas de corte o cierre. La sectorización del servicio debe buscar los siguientes objetivos:

1. Controlar fugas en las zonas de presión, disminuyendo el riesgo de rotura de las tuberías y disminuyendo el caudal de fuga por goteos no localizables.
2. Controlar la presión en las diferentes zonas de la red de distribución.
3. Facilitar las labores de mantenimiento preventivo programado en la red de distribución, facilitando el aislamiento de los diferentes circuitos y subcircuitos.
4. Controlar el índice de agua no contabilizada, permitiendo la realización de balances de agua en los diferentes circuitos y subcircuitos.
5. Optimizar la operación del servicio, uniformizando la presión para todos los clientes dentro de la red de distribución.

La optimización de la sectorización se realizará a través de la conformación de las siguientes unidades hidráulicas:

- **CIRCUITO:** Unidad Hidráulica que cuenta con alimentación de manera exclusiva e independiente. Funciona de manera independiente de los otros circuitos a través de válvulas de aislamiento permanente y discontinuidades en la red. Posee medición permanente.

- **SUBCIRCUITO:** El Circuito está dividido en subcircuitos, esta división se configura en tantas unidades como sea necesario para cumplir con los parámetros de presión máxima y mínima establecidos por la normatividad y en busca del plano óptimo de presiones. El tamaño óptimo aceptado del subcircuito es de veinticinco (25) km de red, y un tamaño mínimo de cuatro (4) km de red. El subcircuito, cuenta con aislamiento permanente de los demás subcircuitos, con tuberías de entrada de suministro limitadas, identificables y monitoreables. El subcircuito como unidad básica de Gestión Técnica cuenta con medición de caudal permanente, si su tamaño es mayor de veinte (20) km de red, si el subcircuito tiene una longitud de red menos a veinte (20) km, la medición de caudal puede ser temporal. En cualquier caso el subcircuito debe estar adecuado para la determinación del consumo en cualquier momento.
- **UCO. Unidad Control Operativo.** Es la unidad mínima operativa. El número de UCOS que componen el subcircuito son mínimo dos. El tamaño máximo de la unidad de control operativo será de 4 km de red. La finalidad de la unidad de control operativo es la investigación: del funcionamiento de la red, los consumos, la determinación de los caudales mínimos nocturnos y la determinación y ubicación pérdidas del subcircuito.

### 5.3.5 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. El diseño puede incluir tramos de la red de distribución abiertos, siempre y cuando terminen en hidrantes o en taponés 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 ningún caso se permite que la red de distribución termine en un cliente.

2. La topología de la red debe conservar mallas independientes del diámetro, a menos que exista una dificultad técnica.
3. Preferiblemente la alimentación de cada circuito o subcircuito se debe hacer en un solo punto con el fin de facilitar el cálculo de balances de aguas necesario para controlar el índice de agua no contabilizada.

### 5.3.6 Facilidad de acceso

En todos los casos, las tuberías que conformen la red de distribución deben tener facilidad de acceso para los equipos de mantenimiento de EPM a lo largo de todo su trazado. En caso de 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 hacerse cuando se a posible desde el lado de la vía. Para el diseño de las cajas de las válvulas reguladoras de presión, el diseñador debe tener en cuenta lo establecido en el Numeral 5.7.2.12 de esta norma y el plano vigente de EPM, referente a Estaciones Reguladoras de Presión para válvulas con diámetros entre 50 mm y 250 mm.

### 5.3.7 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 las redes de distribución son poco vulnerables 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 de que la red de distribución cruce terrenos que pudiesen causar contaminación del agua tratada, el material de la tubería debe ser invulnerable al tipo de contaminante específico. En caso

contrario, la tubería debe protegerse en su exterior según lo indicado en el Numeral 5.5.6 de esta norma, para evitar posibles problemas de infiltración hacia la tubería, ya sea por corrosión o por permeabilidad de la pared a ciertos contaminantes. El diseño debe tener especial cuidado en aquellas tuberías cercanas a estaciones distribuidoras de gasolina.

### 5.3.8 Vulnerabilidad de deformación la red de distribución

La red de distribución es vulnerable a la deformación del suelo causada por problemas geotécnicos, geológicos y/o topográficos. El diseño debe establecer el nivel de vulnerabilidad. En caso de que por razones geológicas, topográficas, sísmicas o cualquier otro tipo de factor se considere que la red de distribución tiene una alta vulnerabilidad, el diseño debe tener en cuenta que la red sea fácil y rápida de reparar en caso de daños. El diseño también debe poner especial cuidado en la división de la red en circuitos y en la facilidad del aislamiento de éstos de acuerdo con lo establecido en el Numeral 5.7 “Accesorios y estructuras para las tuberías de la red de distribución” de esta norma. Con el fin de establecer la vulnerabilidad de las tuberías de la red de distribución frente a la deformación del suelo se puede seguir lo establecido en la Tabla 4-9.

Con el fin de disminuir la vulnerabilidad frente a fenómenos sísmicos, los materiales de tuberías y de sus accesorios, especialmente las uniones, deben estar diseñados para soportar los esfuerzos de tensión y corte generados por el sismo de diseño, aplicables a los municipios atendidos por EPM.

### 5.3.9 Control de crecimiento y desprendimiento de biopelículas

La red de distribución es vulnerable al crecimiento y desprendimiento de biopelículas, así como a la formación de depósitos de materia inorgánica al interior de tuberías. Esta vulnerabilidad es función del régimen de velocidades en las tuberías de la red, así como de la calidad del agua producida en las plantas

de potabilización y a la interacción de aguas proveniente de fuentes diferentes.

Con el fin de evitar eventos de deterioro de la calidad de agua en el sistema de acueducto, el diseño debe contemplar un control del crecimiento y desprendimiento de películas biológicas, estableciendo una velocidad mínima de operación para las redes de distribución. Esta velocidad debe corresponder a las condiciones de operación hidráulica de caudal máximo horario en el momento de entrada en operación de la red.

### 5.3.10 Lavado para remoción de biopelículas

El diseño debe garantizar la realización de un lavado unidireccional de las tuberías, el cual se caracteriza por:

1. Remover las biopelículas debido a las velocidades de flujo que maneja
2. Generar un alto esfuerzo cortante
3. 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 de que se opte por esta solución, el diseño podría establecer la forma de lavado de la red utilizando ya sea el sistema de hidrantes contra incendio o las válvulas o taponés en los puntos muertos de la red.

## 5.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

### 5.4.1 Período de diseño

El período de diseño de la red de distribución de agua potable es de 30 años para aquellos municipios operados por EPM que formen o vayan a formar parte del sistema interconectado. Para otros municipios se debe seguir lo establecido en la versión vigente del RAS para los diferentes Niveles de Complejidad del Sistema. En aquellos casos en los cuales el análisis de costo mínimo sugiera un desarrollo por etapas, estas deben

diseñarse teniendo en cuenta dicho período de diseño.

En caso de que antes que se cumpla el período de diseño (30 años), se alcance la población de saturación establecida por el POT, el período de diseño debe ser el correspondiente al momento en que se llegue a dicha población de saturación, tal como se estableció en el Numeral 3.2.4 de esta norma.

### 5.4.2 Caudal de diseño

El caudal de diseño de la red de distribución, o ampliaciones a ésta, corresponde al Caudal Máximo Horario (QMH) definido en el Numeral 3.7.3 de esta norma, más las pérdidas técnicas y, en caso de que la demanda de agua se haya calculado con la proyección de clientes de EPM, las pérdidas comerciales en la red de distribución. Se debe verificar en todo caso que este caudal sea mayor al Caudal Medio Diario  $Q_{md}$  definido en el Numeral 3.7.1 de esta norma, más el caudal de incendio definido en el Numeral 3.8.

### 5.4.3 Pérdidas de agua en la red de distribución

Para propósitos del cálculo de los caudales de diseño, el porcentaje de las pérdidas técnicas en la red de distribución debe ser como máximo el 15%, el cual debe tenerse en cuenta siempre que se proceda a un diseño.

El porcentaje de pérdidas comerciales en la red de distribución debe tener como referencia un valor de 10%, el cual se obtiene de la suma del porcentaje de pérdidas de submedición (máximo del 5%), fraudes (máximo 3%) y de instalaciones cortadas por falta de pago (máximo 2%). Los anteriores valores deben ser tomados como una guía, pero el diseñador debe tener en cuenta las condiciones propias del sistema que está diseñando para la elección de estos porcentajes. El caudal de diseño debe afectarse por este factor únicamente en el caso de que la demanda de agua se haya calculado con la proyección de clientes de EPM y no con la proyección de población.

#### 5.4.4 Calidad de agua en la red de distribución

En la etapa de diseño de una red de distribución de agua potable para los municipios atendidos por EPM, es necesario calcular la calidad de agua en cada uno de los nudos de la red, dando los niveles de cloro residual y de otros químicos, teniendo en cuenta la calidad en las plantas y los tanques de almacenamiento y/o compensación en los cuales pueda 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 estipulado en el Decreto 1575 de 2007 de los Ministerios de Vivienda y Medio Ambiente y de Salud y Protección Social, o aquel que lo reemplace.

Los cálculos de calidad de agua deben incluir además del cloro residual, la edad del agua en cada nudo y la vida media del agua en la red. Con el fin de realizar dichos cálculos de calidad a lo largo de toda la red de distribución, se deben utilizar los coeficientes de decaimiento establecidos en la Tabla 4-10, o aquellos dados por EPM para un caso particular. En caso de que no exista información sobre estos coeficientes, el diseñador debe justificar la adopción de unos, con la previa aprobación de EPM.

En el caso de existencia de zonas muertas en la red de distribución, el diseño debe incluir el análisis del efecto que dichas zonas tienen sobre la calidad del agua que llega a cada uno de los nudos de la red.

El diseño también debe establecer, para el caso de los puntos muertos, la forma de lavado especificando qué válvulas se deben operar simultáneamente a la apertura del hidrante o la válvula al final de la zona muerta, con el fin de conseguir las condiciones hidráulicas de velocidad y de esfuerzo cortante que permitan el restablecimiento de la calidad del agua y el desprendimiento de las películas biológicas y la resuspensión de posibles depósitos inorgánicos al interior de la tubería. El diseño también debe establecer la frecuencia de lavado y la duración

de lavado en cada uno de los puntos muertos de la red.

#### 5.4.5 Deflexión de las tuberías de la red de distribución

Las tuberías formadas por segmentos rectos pueden colocarse en curva, si es necesario, mediante la deflexión de las tuberías en sus uniones, si éstas son del tipo flexible. Sin embargo, si el trazado de la red de distribución implica una vulnerabilidad alta, de acuerdo a lo definido en el Numeral 5.3.8, o cruza suelos con problemas de estabilidad, no se recomienda deflectar las tuberías en las uniones mecánicas, con el fin de mantener su flexibilidad y dar seguridad a la red de distribución. En el caso de las uniones flexibles, la deflexión máxima posible en cada junta, con excepción de las uniones con características especiales, será la indicada por el fabricante de la tubería pero nunca podrán ser superiores a los valores mostrados en la Tabla 5-2. Igualmente, se recomienda que el fabricante especifique el coeficiente de pérdidas menores correspondiente a las juntas flectadas, como función del ángulo de deflexión.

Tabla 5-2 Deflexiones máximas posibles en tuberías (Tomado del RAS 2000)

<i>Diámetro tubo (mm)</i>	<i>Deflexiones (grados-minutos)</i>
76.2	3° 0'
100	3° 0'
150	3° 0'
200	3° 0'
250	3° 0'
300	3° 0'
400	2° 40'
450	2° 25'
500	2° 10'
600	1° 45'
750	1° 25'
900	1° 10'
1 000 y mayores	1° 5'

En el caso de tuberías flexibles, éstas podrán ser flectadas para formar curvas siguiendo lo

establecido en las Normas Técnicas Colombianas NTC o en normas técnicas internacionales aprobadas por EPM, en caso de que las primeras no existan.

#### 5.4.6 Materiales para las tuberías de la red de distribución

Para la construcción de una red de distribución de agua potable o una ampliación de éstas, el diseño debe proponer el uso de alguno de los siguientes materiales:

1. Polietileno de alta densidad (PEAD)
2. Hierro dúctil (HD)
3. Policloruro de vinilo (PVC)
4. Polipropileno

Podrán utilizarse otros materiales, siempre y cuando cuenten con la aprobación de EPM. En general, todos los materiales que se utilicen para un proyecto de acueducto deben cumplir con las características técnicas mínimas establecidas por la normatividad nacional y las NEGC de EPM.

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 las NEGC complementadas con las del 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 las Tabla 4-12 y Tabla 4-13 de esta norma.
2. Los accesorios deben ser los recomendados por los fabricantes de las tuberías empleadas y deben cumplir con las NEGC complementadas 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.

3. 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, de análisis económico, de costos de operación, de costos de mantenimiento, etc.
4. El diseño de la red de distribución puede incluir tramos de diferentes materiales, elegidos en conformidad con su tipo de funcionamiento, operación y mantenimiento, condiciones de instalación en el terreno y esfuerzos actuantes. Similarmente, en el caso de ampliaciones 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.
5. 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 de energía posible.
6. EPM debe contar con un inventario de repuestos y accesorios para la colocación y empalme con tuberías de materiales diferentes.

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 trabajos, presiones de estática, presiones causadas por golpe de ariete).
5. Condiciones de instalación adecuadas al terreno de la zona del proyecto.
6. Condiciones económicas, teniendo en cuenta todo lo establecido en el estudio de generación de alternativas descrito en el Numeral 5.4.13 de esta norma.
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, si no examinándolos globalmente, considerando principalmente el costo inicial y de mantenimiento así como la seguridad de la red de distribución. Será responsabilidad del diseñador escoger el material que mejor se adapte a las condiciones particulares de un proyecto.

No obstante lo anterior, EPM podrá solicitar el uso de algún material específico, teniendo en cuenta que el mismo se ajuste a las necesidades de operación y mantenimiento, si así lo requiere.

#### 5.4.7 Presiones en la red de distribución

Además de lo establecido en el Numeral 5.3.4 de esta norma “Sectorización del servicio”, para el diseño de la red de distribución deben tenerse en cuenta los siguientes requerimientos para las presiones:

1. La presión dinámica mínima debe ser de 20 m.c.a.
2. La presión estática máxima debe ser de 60 m.c.a.
3. La red de distribución debe estar subdividida en tantas zonas de presión como se requieran para cumplir con las anteriores condiciones de presión.
4. EPM garantizan la prestación del servicio directamente desde la red pública a edificaciones hasta con 3 pisos de altura, con altura máxima de 9 m desde la rasante de la vía hasta el tercer piso. Los edificios con 4 o más pisos de altura deben contar con su propio sistema de aumento de la presión interna, acompañados por el tanque de succión. En ningún momento se permite el bombeo directo desde la red de distribución.
5. El diseño de las redes nuevas deben cumplir con los rangos de presión establecidos en la norma, sin embargo, la empresa prestadora de servicio. En una misma zona de presión puede presentar presiones estáticas mayores que la máxima definida y presiones dinámicas menores que la mínima fijada, siempre y cuando cumpla con lo siguiente:
  - a. El área a abastecer con una presión estática superior a 60 m.c.a. puede corresponder al 10% del área de la zona de presión, desde que no se sobrepase una presión de 65 m.c.a. y hasta el 5% del área de la zona de presión desde que no se sobrepase una presión de 70 m.c.a.

- b. El área a abastecer con una presión dinámica inferior a 20 m.c.a. puede corresponder hasta el 10% del área siempre que la presión mínima sea superior a 15 m.c.a. y hasta el 5% del área de la zona de presión, siempre que la presión mínima sea superior a 12 m.c.a.
- c. El nivel de referencia de las presiones estáticas y dinámicas serán con respecto al nivel de agua máximo en los tanques para la primera y al nivel de agua mínimo en los tanques 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 clientes 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.

#### 5.4.8 Diámetros de las tuberías en la red de distribución

Para el cálculo hidráulico y el diseño de la red de distribución, se deben utilizar los diámetros reales internos de las tuberías y los coeficientes de rugosidad para cada uno de los materiales que podrían formar la red de distribución. Por consiguiente, 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.

Con respecto a los diámetros de las tuberías de la red de distribución se deben tener en cuenta, desde la etapa de diseño, los siguientes aspectos:

- 1. El diámetro interno mínimo de las tuberías será de 75 mm en zonas

residenciales y de 150 mm en zonas industriales y comerciales.

- 2. Para el caso de manzanas con tuberías mayores o iguales a 300 mm en la red de distribución, donde se requiera la instalación de acometidas, se debe tener una red paralela con el diámetro establecido para el uso de suelo y con un diámetro mínimo de 75 mm.
- 3. En todos los casos los diámetros deben asegurar una capacidad suficiente para atender el caudal máximo horario QMH y la previsión de caudales en caso de incendio, garantizando las presiones máximas y mínimas durante todo el período de diseño del proyecto.

Para cada material se debe determinar el diámetro interno y cual es el equivalente en diámetros nominales o externos

#### 5.4.9 Velocidades en las tuberías de la red de distribución

La velocidad máxima en las tuberías de la red de distribución, no deben superar los 2.5 m/s, 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 los casos donde se supere este valor, deben hacerse análisis de golpe de ariete y de desprendimiento de biopelículas, sin superar los valores de la Tabla 5-3.

Tabla 5-3 Velocidades máximas según material de tuberías

<i>Material</i>	<i>Velocidad (m/s)</i>
Acero sin revestimiento	5,0
Acero con revestimiento	4,0
Hierro dúctil	4,0
CCP	3,0
PVC	6,0
PEAD	6,0
GRP	6,0
Polipropileno	6,0

En caso de que el diseño utilice un material diferente para las tuberías, el diseñador debe justificar ante EPM el valor máximo supuesto para la velocidad.

El diseño debe verificar la velocidad mínima de 0.5 m/s, correspondiente al Caudal Máximo Horario QMH en el momento de entrada de operación de la red. Además debe especificar la instalación de hidrantes o dispositivos de vaciado para realizar maniobras de limpieza de la tubería en forma periódica.

#### **5.4.10 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 3.6 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 Numeral 5.5.2.

#### **5.4.11 Pendientes en las tuberías de la red de distribución**

Con el objetivo de permitir la acumulación de aire en los puntos altos de las tuberías y su correspondiente eliminación a través de válvulas de ventosa colocadas para este efecto y con el fin de facilitar el arrastre de posibles depósitos hacia los puntos bajos y acelerar los procesos de lavado de las tuberías, éstas no deben colocarse horizontalmente.

Las pendientes mínimas recomendadas son las siguientes:

1. Cuando el aire acumulado tiende a circular en el sentido del flujo de agua, la pendiente mínima debe ser 0.04%.
2. Cuando el aire fluye en el sentido contrario al flujo de agua la pendiente mínima debe estar entre 0.1 y 0.15%.

En este último caso, la pendiente no podrá ser menor que la pendiente de la línea piezométrica en ese tramo de la red de distribución. Cuando sea necesario hacer más uniformes las pendientes de todos los tramos de la red de distribución, 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 entre dos opciones: una mayor excavación versus un mayor número de accesorios.

#### **5.4.12 Profundidad de instalación de las tuberías a cota clave**

Con respecto a la profundidad de instalación de las tuberías objeto del diseño de la red de distribución, debe tenerse en cuenta los siguientes criterios de diseño:

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 clave de la tubería hasta la superficie del terreno.
2. Para los casos críticos de construcción donde sea necesario colocar la clave de la tubería entre 0.6 y 1.0 m de profundidad, debe hacerse un análisis estructural 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 en donde se garantice que no habrá flujo

vehicular, previa aprobación de las Empresas Públicas de Medellín.

3. La profundidad máxima de las tuberías que conforman la red de distribución, en términos generales, no debe exceder los 1.50 m de profundidad medidos desde la cota clave de la tubería hasta la superficie del terreno; los casos especiales deben ser aprobados por las Empresas Públicas de Medellín.
4. 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.
5. En caso de que la red de distribución se vea sometida a algún tipo de sumergencia temporal, el diseñador 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.
6. Todos los pasos sobre quebradas, ríos, canales, depresiones u otras estructuras deben instalarse teniendo en cuenta aspectos de seguridad, ambientales, legales, vulnerabilidad, estética y menor costo de instalación y mantenimiento. Se recomienda que estos cruces estén acompañados por estructuras especiales tales como las descritas en el Numeral 5.7.14.4.

#### 5.4.13 Generación de alternativas

Cuando EPM no cuente con estudios previos de análisis económico para la definición de los materiales de tuberías, 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 hacerse para los materiales que cumplan lo establecido en el Numeral 5.4.6 de la presente norma y el cálculo del diámetro de

cada alternativa debe seguir lo establecido en el Numeral 5.5.4.

Las alternativas así generadas, con base en criterios hidráulicos 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, se debe verificar la restricción de calidad del agua, la cual debe cumplir en todo momento lo establecido por el Artículo 35, Decreto Nacional 1575 de 2007, de los Ministerios de Vivienda y Medio Ambiente y de Salud y Protección Social, por el cual se expiden las normas técnicas de calidad del agua potable, o aquel que lo reemplace.

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. En este caso, el diseño debe seguir lo establecido en el Anexo 2.1, del Capítulo 2 de esta norma.

## 5.5 DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

### 5.5.1 Diseño hidráulico de las redes de distribución

El cálculo hidráulico de la red de distribución de agua potable debe hacerse tanto para las condiciones iniciales o actuales de consumo, como para las condiciones de consumo correspondientes al período de diseño de la red. Igualmente, el diseño debe hacer 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 nudos 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 abiertas y debe estar basado en el método del gradiente para el cálculo de redes hidráulicas.
3. Los cálculos hidráulicos deben hacerse con el diámetro interno real tanto para las tuberías existentes como para las tuberías 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 redes de distribución deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Debe desarrollarse un análisis hidráulico de la red de distribución que simule todas condiciones operacionales normales y de emergencia, definiendo el régimen de presiones y caudales a todo lo largo de la red. Este análisis debe incluir las operaciones de lavado para control de biopelículas y de depósitos inorgánicos al interior de la red.
2. De acuerdo al numeral 5.4.9 el análisis hidráulico 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 red, operaciones bajo condiciones de mantenimiento y emergencia, incluyendo el posible estallido de la tubería.

### 5.5.2 Modelo hidráulico de la red y estructuración

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. El modelo hidráulico debe tener en cuenta los puntos establecidos en el Numeral 4.5.2 de esta norma. Adicionalmente debe seguir lo establecido en los Numerales 5.5.4 y 5.5.5.

Los datos que alimentan el modelo hidráulico de la red de distribución deben incluir entre otros los siguientes:

1. Datos de catastro de la red de distribución de las Empresas Públicas de Medellín.

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 los accesorios que generan pérdidas relevantes y 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 de que existan.
5. Asignación de caudales, controles (horas de cierre en elementos) y factores de consumo (curvas de consumo).

Para el diseño de redes de distribución nuevas, ampliaciones de redes existentes o para plantear reglas para su operación, se debe contar con un modelo hidráulico.

### 5.5.3 Cálculo de caudales por nudo

Para propósitos de diseño de nuevas redes de distribución de agua potable, la determinación de los caudales de consumo para cada uno de los nudos 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 nudos 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:

$Q_i = A_i \times Q_e$	<b>Ecuación 5.1</b>
------------------------	---------------------

donde

$Q_i$  = Caudal de consumo en el nudo i (L/s)

$Q_e$  = Caudal específico por unidad de superficie (L/s/ha)  
 $A_i$  = Área de influencia o área abastecida por el nudo i (ha)

El área de influencia es aquella delimitada por cada una de las mediatrices de los tramos que llegan al nudo 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 diseñador debe justificar un método particular de selección de áreas de influencia.

#### 2. Método de la carga unitaria

Este método incluye el conteo de clientes (o hectáreas con un uso de tierra dado, o un número de unidades de consumo) que contribuyen a la demanda de agua en un nudo 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 nudos extremos de los tramos respectivos.

Los tres métodos anteriores también deben aplicarse para el caso de extensiones de redes de distribución de agua potable existentes. Para las zonas actuales de la red, los caudales de consumo en cada nudo se calculan teniendo en cuenta la distribución espacial de predios tomada de los planos de catastro de los municipios atendidos por las Empresas Públicas de Medellín, asignando cada predio a un nudo particular de consumo, mediante el

uso de un programa de asignación de nudos basados en sistemas de información geográfica. Los caudales en cada nudo se calculan teniendo en cuenta la información comercial de consumo de agua existente en las Empresas Públicas de Medellín para cada uno de los clientes asignados a dicho nudo, teniendo en cuenta el consumo mensual y la curva de demanda de agua dada por EPM para la red existente. Finalmente el caudal en cada nudo debe afectarse por un factor calculado de acuerdo con la proyección de clientes de EPM o la proyección de población al final del período de diseño.

Para propósitos de diseño de ampliaciones de redes de distribución de agua potable existentes, los caudales de consumo se calculan de acuerdo con lo descrito en el párrafo anterior.

### 5.5.4 Cálculo hidráulico de tuberías simples

#### 5.5.4.1 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 Darcy-Weisbach, en conjunto con la ecuación de Colebrook-White. Estas ecuaciones son:

$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$	<b>Ecuación 5.2</b>
------------------------------	---------------------

$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$	<b>Ecuación 5.3</b>
------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

donde

- $D$  = Diámetro interno real de la tubería (m)
- $f$  = Coeficiente de fricción de Darcy
- $h_f$  = 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
- $v$  = Velocidad media del flujo (m/s)
- $g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

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 Numeral 4.5.3 “Cálculo hidráulico de tuberías simples” de ésta norma. Adicionalmente se deben tener en cuenta las rugosidades absolutas de los diferentes materiales de tuberías establecidos en la Tabla 4-15 de esta norma.

#### 5.5.4.2 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 5.4.

$h_m = K_m \times \frac{v^2}{2g}$	<b>Ecuación 5.4</b>
-----------------------------------	---------------------

donde

- $g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- $h_m$  = Altura de pérdidas menores (m)
- $K_m$  = Coeficiente de pérdida menor

Para el cálculo de las pérdidas menores debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el Numeral 4.5.3.2 de esta norma, en particular lo referente a los coeficientes de pérdidas menores de cada uno de los accesorios. En caso de tener accesorios diferentes a los establecidos en el Numeral 4.5.3.2, el diseñador debe proponer los coeficientes de pérdidas menores correspondientes, previa

aprobación de las Empresas Públicas de Medellín.

### 5.5.5 Calidad de agua

Como parte del diseño es necesario hacer los cálculos de la evolución de la calidad de agua en la red de distribución, para lo cual se debe conocer la condición de calidad de agua con su variación temporal, en el tanque de almacenamiento y/o compensación que alimenta la red. 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.

Las ecuaciones para el análisis de la calidad de agua deben ser tales que simulen los procesos de decaimiento del cloro residual en la red, los cuales deben permitir calcular la concentración de cloro y el tiempo de vida media del agua en cada nudo y la edad media del agua. Para el uso de estas ecuaciones se deben utilizar las constantes de decaimiento mostradas en el Numeral 4.4.4 de esta norma o aquellos por los cuales sean reemplazados. 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:

$\frac{dc}{dt} = -v \cdot \frac{dc}{dx} - K_b \cdot c - \frac{K_w}{R} \cdot (c - c_w)$	<b>Ecuación 5.5</b>
----------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

donde

- $c$  = Concentración de cloro (mg/L)
- $c_w$  = Concentración de cloro en la pared de la tubería
- $v$  = Velocidad media del agua (m/s)
- $R$  = Radio hidráulico de la tubería (m)
- $t$  = Tiempo (s)
- $x$  = Abscisa o distancia horizontal (m)
- $K_w$  = Coeficiente de transferencia entre el agua y la pared de la tubería
- $K_b$  = Constante de reacción de primer orden en el agua

El proceso de mezcla de agua en los nudos debe calcularse aplicando la siguiente ecuación de continuidad:

$C_s = \frac{\sum C_{ij} \cdot Q_{ij}}{\sum Q_{ij}}$	<b>Ecuación 5.6</b>
------------------------------------------------------	---------------------

El proceso en los tanques de almacenamiento y/o compensación puede calcularse con las siguientes ecuaciones:

$\frac{dV}{dt} = \sum q_e - \sum q_s$ $\frac{d(V \cdot c)}{dt} = \sum q_e \cdot c_k - \sum q_s \cdot c_j - K_b \cdot c$	<b>Ecuación 5.7</b>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

donde

- $c_j$  = Concentración en un caudal de salida (mg/L)
- $c_k$  = Concentración en un caudal de entrada (mg/L)
- $Q_{ij}$  = Caudal que fluye del nudo i al nudo j (m<sup>3</sup>/s)
- $q_e$  = Caudal de entrada (m<sup>3</sup>/s)
- $q_s$  = Caudales de salida (m<sup>3</sup>/s)
- $V$  = Volumen de agua en el (los) tanque (tanques) (m<sup>3</sup>)
- $C_{ij}$  = Concentración de cloro que entra del nudo i al nudo j (mg/L)
- $C_s$  = Concentración final de cloro en el agua que sale del nudo j (mg/L)

### 5.5.6 Recubrimiento y protección de tuberías

En caso de que por razones geotécnicas, geológicas y de cruce por zonas con alta contaminación, así como en los puntos de cruces de quebradas y otros cuerpos de agua en los cuales las tuberías de las redes de distribución queden expuestas, éstas deben estar protegidas con revestimientos externos para lo cual se debe seguir lo establecido en el Numeral 4.5.6. Igual cosa se debe hacer en caso de que exista riesgo de corrosión en tuberías metálicas.

### 5.5.7 Análisis de puntos muertos en la red de distribución

En general, el diseño de nuevas redes de distribución o ampliaciones a éstas no debe permitir la existencia de puntos muertos exceptuando aquellos casos en los cuales se prevean posibles ampliaciones futuras. En el caso de que existan puntos muertos, el diseño debe incluir elementos y accesorios de control que permitan hacer un lavado periódico de la red de distribución en este circuito.

### 5.5.8 Comprobación de diseño bajo diferentes condiciones de operación

Una vez realizado el diseño, se deberá comprobar su funcionalidad bajo diferentes condiciones de operación hidráulica. Para esto se debe utilizar cualquier programa de análisis de redes de tuberías que utilice el método del gradiente como método de cálculo, utilizando la ecuación 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 tubería.

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 QMH 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 estallidos 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 de 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.

### 5.5.9 Protocolo de pruebas dado por el diseñador

El diseño de una nueva red de distribución o una ampliación de una red existente debe incluir un protocolo de pruebas que especifique el tipo de pruebas hidráulicas que se deben hacer al sistema antes de que éste entre en

operación. El diseño debe incluir el tipo de operación hidráulica bajo la cual se deben hacer las pruebas así como el tipo de mediciones de caudal, de presiones y de calidad de agua en puntos específicos del sistema.

El diseño debe especificar los puntos de medición, con su localización y los equipos de medición especiales, estableciendo su rango de medición y su nivel de precisión. Se debe establecer la forma de simulación de las condiciones de campo encontradas durante la prueba, en el modelo matemático de la red de distribución, con el fin de comparar sus resultados con las medidas obtenidas en las pruebas.

El protocolo de pruebas debe establecer claramente la diferencia máxima admisible entre los valores del diseño y los de las pruebas de campo, con el fin de proceder a la recepción del proyecto. Adicionalmente se debe establecer la frecuencia y el período de toma de datos de campo.

Este protocolo debe establecer las pruebas de hermeticidad como pruebas hidrostáticas y de detección de fugas; pruebas de estanqueidad como límites de circuitos y sectores, funcionamiento de válvulas abiertas y cerradas; pruebas de calibración como chequeo de presiones mínimas y máximas, caudales mínimos y máximos y pruebas de funcionamiento como puesta en marcha y calibración de macromedidores, válvulas reguladoras, sostenedoras y de control, chequeo del punto crítico para el control activo de presiones y todas aquellas que deben ser realizadas a las redes, accesorios y equipos instalados en el sistema.

Las pruebas establecidas en el protocolo de pruebas deben ser realizadas por el constructor del proyecto, bajo la supervisión de las Empresas Públicas de Medellín.

### **5.5.10 Uso de tecnologías de información para el diseño de redes de distribución**

Con respecto a las tecnologías de información, el diseño de la red de distribución de agua potable debe seguir todo lo establecido en el Numeral 4.5.14 del Capítulo 4 de estas normas. En el caso de redes de distribución de agua potable se deben tener en cuenta adicionalmente los siguientes aspectos:

1. En el caso de los caudales de consumo de cada nudo, se debe hacer uso de las bases de datos, que hacen parte de la información comercial de EPM, con el fin de utilizar la información comercial de volúmenes consumidos por cada cliente para generar dichos caudales.
2. Se debe utilizar un programa que utilice las coordenadas x, y y z de cada cliente, tomadas directamente del SIGMA de EPM, para fijarlo a alguno de los nudos de consumo de la red de distribución. El programa utilizado debe poder comunicarse tanto con el Sistema de Información Geográfico definido por el SIGMA como con el programa de simulación hidráulica de la red.
3. El diseño de las redes de distribución debe realizarse sobre un programa de modelación hidráulica que use el método del gradiente para sus cálculos, que permita la modelación en período extendido y realice el diseño mediante rutinas de optimización.

## **5.6 OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

### **5.6.1 Dimensionamiento estructural de las tuberías**

Para el dimensionamiento estructural asociado a las tuberías que conforman la red de distribución, el diseño debe tener en cuenta que éste depende del tipo de material seleccionado y debe realizarse según lo establecido en el Capítulo G.3 "Aspectos

estructurales” del Título G del RAS 2000, o aquel que lo reemplace.

### 5.6.2 Localización y nivelación de las tuberías de la red de distribución

En el caso de diseño de redes de distribución nuevas y ampliaciones de redes existentes, el eje de estas tuberías debe localizarse con instrumentos topográficos de precisión.

La referenciación de las tuberías deberá realizarse de acuerdo con el manual de referenciación de EPM. Las tuberías deben referenciarse con respecto a los ejes y los paramentos de las vías, previamente verificados por las Empresas Públicas de Medellín o por la Oficina de Planeación de los municipios atendidos por EPM. En todo caso, para todas las tuberías de la red debe seguirse lo establecido en el “Manual para la referenciación de redes de acueducto y alcantarillado”, en su versión vigente<sup>9</sup>, de EPM.

Los levantamientos altimétricos y planimétricos deben referenciarse a los B.M. o a las placas oficiales de las Empresas Públicas de Medellín o con la aprobación de las oficinas de Planeación Municipal de los municipios atendidos por EPM. En aquellos municipios donde las Empresas Públicas de Medellín sean los operadores, y no existan B.M. o placas oficiales de la Oficina de Planeación Municipal, los levantamientos altimétricos y planimétricos deben referenciarse a las placas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

En todo caso deben utilizarse planos en el sistema de información geográfica establecido por el SIGMA de EPM.

Todas las tuberías de la red de distribución deben colocarse preferiblemente por las vías, siempre que se cumplan con las disposiciones sobre la separación entre las tuberías de la red de distribución de agua potable y las tuberías o ductos de otras redes de servicios públicos, tal como se establece en el Numeral 5.6.5.

<sup>9</sup> [http://www.EPM.com/epmcom/contenido/proveedores/manuales/manual\\_aguas/index.htm](http://www.EPM.com/epmcom/contenido/proveedores/manuales/manual_aguas/index.htm)

### 5.6.3 Análisis de interferencias

En las secciones de las vías que aparecen en los planos de la red de distribución, el diseño debe indicar la localización de las redes de acueducto, las redes de alcantarillado y otros servicios públicos existentes, lo cual debe ser verificado con investigación de campo.

Antes de iniciar la excavación de la zanja deben localizarse los alcantarillados principales y las conexiones domiciliarias que se intersectan con el eje de la tubería, al igual que las redes de otros servicios públicos, y tomar las medidas necesarias para evitar la descarga de agua en la zanja que se va a construir. Para el análisis de interferencias, el diseño debe hacer uso de los planos de catastro municipal, de los planos de catastro de redes de servicios públicos domiciliarios existentes en las Empresas Públicas de Medellín y en otras oficinas del municipio. Estos planos deben estar en el formato del sistema de información geográfica establecido por el SIGMA de EPM. En caso de que las interferencias involucren tuberías de agua potable o tuberías de alcantarillado, los datos del catastro de redes deben verificarse con apiques en campo y con una investigación altiplanimétrica para las redes de alcantarillado existentes.

### 5.6.4 Instalación de las tuberías

El diseño debe analizar todas las condiciones de instalación de las tuberías de la red de distribución, especificando su protección cuando sea necesario y el tipo de instalación. En particular deben analizarse los siguientes aspectos correspondientes a la red de distribución de agua potable:

1. Para la instalación de tuberías, el diseño debe considerar el uso de tecnologías sin zanja. En particular se deben considerar las tecnologías de rompimiento de tuberías (pipe bursting), de recubrimiento interno de tuberías con mangueras o tuberías plásticas de pared delgada, de perforación horizontal dirigida, etc.
2. La instalación de tuberías en tramos con pendientes acentuadas, alrededor de 20° o mayores, con el fin de especificar las

estructuras de apoyo y soporte que sean necesarias para impedir el movimiento de las tuberías.

3. La instalación de las tuberías con coberturas de terreno menor a las especificadas en el Numeral 5.4.12 “Profundidad de instalación de las tuberías a cota clave” en los casos de circulación de vehículos con carga que puedan causar daño a la tubería.
4. En la instalación de las tuberías de la red de distribución, en áreas sujetas a inundaciones, se debe evitar la posibilidad de que la tubería flote, principalmente cuando por condiciones especiales de operación ésta no se encuentre transportando agua, recomendando los anclajes para su protección donde sea necesario.

La instalación de las tuberías debe realizarse siguiendo lo establecido en el Capítulo G.3 “Aspectos Constructivos” del Título G del RAS 2000, o aquel que lo reemplace.

### 5.6.5 Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos

El diseño debe contemplar las distancias mínimas que deben existir entre los tubos que conforman la red de distribución de agua potable de EPM y los ductos de otras redes de servicio tal como se establece a continuación:

1. Las distancias mínimas a la red de alcantarillado sanitario deben ser 1.5 m horizontal y 0.5 m vertical.
2. Las distancias mínimas a la red de alcantarillado de aguas lluvias deben ser 1.0 horizontal y 0.5 m vertical.
3. Las distancias mínimas a las redes de alcantarillado combinado deben ser 1.5 m horizontal y 0.5 m vertical.
4. Las distancias mínimas a las redes de teléfono y de energía eléctrica deben ser 1.5 m horizontal y 0.5 m vertical.
5. Las distancias mínimas a las redes domiciliarias de gas deben ser 1.2 m horizontal y 0.5 m vertical.

Si no es posible cumplir con estas distancias mínimas, las tuberías de las redes de distribución de agua potable deben ser revestidas exteriormente con una protección adicional o encamisado a todo lo largo de la zona de interferencia como se indica en el Numeral 4.5.6.

### 5.6.6 Contraflujos

El diseño debe especificar el tipo de riesgo de ocurrencia de contraflujos hacia la red de distribución de agua potable. En caso de que exista un riesgo alto de contaminación de la red por contraflujos, el diseño debe incluir el tipo de dispositivos o accesorios necesarios para eliminar esta posibilidad, estableciendo igualmente los puntos en los cuales es necesaria la ubicación de este tipo de dispositivos. Dentro de los dispositivos se debe contemplar la instalación de válvulas de cheque y otro tipo de válvulas de prevención de contraflujo, así como las válvulas necesarias para su montaje y mantenimiento.

### 5.6.7 Planos y memorias de cálculo

A demás de lo establecido en el numeral 2.3, para las redes de distribución se debe incluir, los perfiles en los planos de diseño, para tuberías de 250 mm y mayores y en otros casos en donde, por las condiciones del proyecto o a juicio de EPM sean necesarios.

## 5.7 ACCESORIOS Y ESTRUCTURAS PARA LAS TUBERÍAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

### 5.7.1 Aspectos generales

Los accesorios de la red de distribución de agua potable son elementos complementarios para la instalación de las tuberías y la operación hidráulica de la red, e incluyen uniones, codos, reducciones, ampliaciones, válvulas y otros dispositivos de control, anclajes, etc.

Las tuberías de la red de distribución y sus accesorios deben ser compatibles entre sí, con

respecto a las presiones de trabajo, las dimensiones (diámetros, espesores, sistemas de unión) y a la estabilidad electroquímica, si se trata de materiales diferentes.

Con relación a las especificaciones técnicas de los accesorios que van a utilizarse en la red de distribución de agua potable objeto del diseño, estos deben cumplir con los requerimientos de las NEGC de EPM y para los que aplique las Normas Técnicas Colombianas vigentes o de normas técnicas internacionales con la aprobación previa de EPM.

En todo caso los proveedores de los accesorios para redes de distribución deben presentar al diseñador del proyecto o a EPM, la certificación de control de calidad otorgado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) o un organismo internacional apto para esto, así como la homologación de los elementos nuevos.

Todos los elementos que conforman las redes y acometidas, de acuerdo con el diseño del proyecto, deben someterse a la aprobación y homologación por parte de EPM. Se recomienda que esta aprobación se solicite al inicio de la construcción del proyecto o por lo menos 60 días antes de la instalación de la red de distribución; sin embargo, de acuerdo con la magnitud o condiciones del proyecto se deberá establecer con EPM el tiempo adecuado de esta aprobación.

## 5.7.2 Válvulas

### 5.7.2.1 Consideraciones generales para las válvulas

El diseño de la red de distribución debe contemplar el uso de válvulas de compuerta o mariposa ubicadas de modo que se cumplan entre otros los siguientes requisitos:

1. En las tuberías principales deben disponerse de las válvulas necesarias que permitan aislar un circuito o subcircuito. Si se aísla parte del sistema de distribución de agua potable, debe

asegurarse el mantener el servicio de agua en el resto del circuito.

2. El empalme de todo ramal de derivación con la red de distribución debe tener una válvula de corte o cierre.
3. Cuando la red de distribución de un sector esté conformada por tuberías principales y tuberías secundarias, todas las conexiones de las tuberías secundarias con las tuberías principales deben tener una válvula de cierre o corte. Como tuberías principales de una red de distribución secundaria se consideran aquellas tuberías con un diámetro nominal superior o igual a 200 mm.
4. Debe analizarse y sustentarse la disposición de las válvulas del diseño teniendo en cuenta la flexibilidad de operación del sistema y la economía del diseño para reducir las válvulas a un mínimo, al aislar un circuito o subcircuito.
5. En el caso de que la red de distribución de agua potable de uno de los municipios atendidos por EPM se encuentre dividida en zonas de servicio, siguiendo criterios hidráulicos de presión, los diferentes circuitos o subcircuitos deben estar conectados entre sí y aislados a través de válvulas de mariposa o compuertas con un cierre permanente, si el diseñador lo considera pertinente. Se recomienda que esta válvula tenga cabezote cuadrado con el fin de facilitar su identificación, el cual debe tener una protección en mortero, que se pueda remover fácilmente, para evitar su manipulación por parte de personal no autorizado. El propósito de estas válvulas es tener formas alternas de distribución de agua potable en el caso de operaciones especiales de mantenimiento o bajo situaciones de emergencia.
6. En caso de que aguas arriba del punto de entrada a un circuito o subcircuito, la presión disponible sea mayor que la presión requerida para la correcta operación hidráulica, se debe colocar una válvula reguladora de presión con todos sus accesorios, en dicha entrada.
7. Las válvulas localizadas al interior de la red de distribución deben ser de tipo

compuerta o mariposa de doble o triple excentricidad con vástago no deslizante. La construcción e instalación de estas válvulas debe seguir lo establecido en el manual “Normas y Especificaciones Generales de Construcción en Redes de Servicio” de EPM, en su Capítulo 7 “Redes de distribución, Acometidas y Construcciones de Acueducto”.

8. Para tuberías de 150, 200 y 250 mm de diámetro nominal, el diseño debe incluir como mínimo una válvula cada 200 m. Para tuberías con diámetros nominales mayores, el diseño debe incluir válvulas, a lo largo de su longitud, que permitan una correcta operación hidráulica del sistema. Sin embargo, la máxima separación entre válvulas no puede ser superior a 300 m.
9. En caso de que existan ramales abiertos, éstos deben tener como mínimo 8 válvulas por kilómetro de red. Estas válvulas sólo incluyen aquellas con capacidad de interrupción del flujo dentro de la tubería.
10. En los puntos bajos de la red y en los puntos bajos de sifones invertidos, en caso de que estos existan, deben instalarse válvulas de purga o desagüe y/o hidrantes, y diseñarse las obras necesarias para su adecuado drenaje.
11. En caso de que existan puntos muertos en la red, estos pueden terminar en válvulas o hidrantes que permitan operaciones de lavado de dichos puntos, los cuales deben estar provistos con su respectivo sistema de drenaje.
12. En los puntos altos de la red de distribución deben instalarse dispositivos de entrada y salida de aire (válvulas ventosas de doble efecto).
13. Todas las válvulas deben complementarse y protegerse con cajas de mampostería u hormigón con tapa a nivel de la rasante.
14. Aguas abajo de toda derivación, donde se desprendan ramales de la red de distribución, debe colocarse una válvula de cierre.

Las válvulas en las redes de distribución de agua potable se clasifican de acuerdo con la función hidráulica deseada, en válvulas de cierre, válvulas de cierre permanente, válvulas de admisión o expulsión de aire (ventosas), válvulas reguladoras de presión, válvula controladora de caudal, válvulas de prevención de contraflujos (válvulas de cheque), válvulas de descarga o purga, válvulas de paso directo, válvulas de alivio y válvulas de sobre-velocidad. En los siguientes numerales se especifican los requisitos para cada uno de estos tipos de válvula.

### 5.7.2.2 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 una distribución de válvulas superiores a 100 mm o mayores con el fin de operar y controlar la red de distribución de tal forma que para aislar un circuito hidráulico de la red no sea necesario cerrar más de 4 válvulas. En ningún caso, el circuito aislado debe tener una zona superior a 4 cuadras.

### 5.7.2.3 Materiales para las válvulas

Los materiales en que deben construirse las válvulas, tanto en su cuerpo como en sus mecanismos de cierre, deben cumplir lo establecido en el Capítulo 7 de las NEGC. Adicionalmente los materiales para las válvulas deben cumplir con todas las Normas Técnicas Colombianas, o las normas técnicas internacionales de la AWWA, de la DIN, de la ASTM, de la ISO o cualquier otra norma internacional equivalente, previa aprobación de EPM.

Las características de los materiales de las válvulas deben ser función de las características químicas del agua por lo que estos accesorios deberán entregar el certificado de conformidad del reglamento de tuberías vigente, así como de las presiones de servicio más los factores de seguridad establecidos en esta norma.

#### 5.7.2.4 Válvulas de corte o cierre (válvulas de compuerta o válvulas mariposa)

Estas son las válvulas utilizadas para el cierre o apertura de tramos de tuberías en las redes de distribución secundaria. Se utilizan principalmente para aislar circuitos en procesos de sectorización, situaciones de mantenimiento y situaciones de emergencia. Las válvulas de compuerta no se deben utilizar en las tuberías con diámetros nominales superiores o iguales a 350 mm; en estos casos se deben utilizar válvulas de mariposa. En todos los casos se deben tener en cuenta las especificaciones del Capítulo 7 de las NEGC.

Cuando tres o más tramos de tuberías principales se interconecten en un punto, el diseño debe prever una válvula de cierre en cada tramo. En las tuberías secundarias el diseño debe prever una válvula en las interconexiones con las tuberías principales.

El diseño debe especificar las válvulas necesarias para que al ejecutar un cierre no se aislen zonas mayores que cuatro cuadras. En todos los 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 analizar la localización de las válvulas teniendo en cuenta la flexibilidad operacional y los costos globales de la red de distribución.

Como propósito de guía, a continuación se presentan dos esquemas de disposición de válvulas, los cuales pueden ser adoptados por el diseñador:

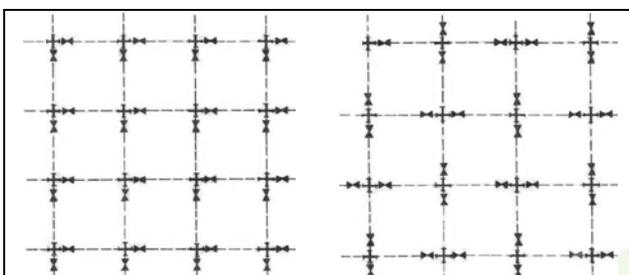


Figura 5-1 Disposición de válvulas para redes de distribución de 75 y 100 mm de DN

#### 5.7.2.5 Válvulas ventosas

Estas válvulas son utilizadas para la admisión y expulsión de aire en los procesos de vaciado y llenado de las tuberías de la red de distribución.

En todos los puntos altos de la red de distribución, debe instalarse una válvula ventosa de doble o triple acción (ventosa automática), así mismo en sectores planos y con diámetros mayores a 150 mm deberá instalarse mínimo cada 500 m; con el fin de evitar que el aire separe la columna del agua en la red cuando ésta esté en operación y permitir la entrada de aire cuando ésta se desocupe en operaciones de mantenimiento o durante emergencias. En todo caso debe cumplirse con lo establecido en las NEGC y con la norma técnica AWWA C512 para las metálicas.

Adicionalmente, el diseño debe tener en cuenta las siguientes 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 sean exigidas por EPM.
2. El tamaño de las ventosas debe ser de 1/8 del diámetro de la tubería para las redes de distribución de agua potable. En todo caso el tamaño de las ventosas en las tuberías de la red de distribución debe ser superior a 25 mm.

#### 5.7.2.6 Válvulas reguladoras de presión

Estas válvulas son utilizadas para regular o reducir la presión en la red de distribución de agua potable. Cuando la presión estática de la red supere el valor máximo especificado en el Numeral 5.4.7 de estas normas, debe contemplarse desde la etapa de diseño la instalación de una válvula reguladora de presión.

Para el caso de las redes de distribución se deben utilizar válvulas de globo con diafragma; se podrán emplear válvulas de otro tipo siempre y cuando estén homologadas por

EPM. En todo caso, el diseño debe contemplar lo especificado en el Capítulo 7 de las NEGC.

El diámetro de la válvula debe determinarse de acuerdo con: la presión máxima, presión mínima, caudal mínimo y el caudal máximo horario (QMH) para el horizonte de diseño de la red de distribución en esa zona. Las estaciones reguladoras de presión deben cumplir con lo especificado en el Capítulo 7 de las NEGC. Las estaciones y 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. En algunos casos, las condiciones de presión a la salida de la válvula podrá estar determinada por sistemas auto-reguladores que permiten establecer un control activo de presiones, la cual debe ser tenida en cuenta por el diseñador.
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 (bypass) 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 Numeral 5.7.2.13 de esta norma.
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.
10. En aquellos casos que la variación horaria de caudal sea tal que un sólo diámetro no cumpla con el caudal máximo y el caudal mínimo a la vez, se deberá diseñar la estación con dos VRP en paralelo.
11. Cuando la diferencia entre la presión de entrada y la presión requerida a la salida de la estación reguladora de presión supere dos veces la presión de salida requerida, es necesario implementar válvulas reguladoras en serie

#### **5.7.2.7 Válvulas controladoras de caudal**

Usualmente estas válvulas se instalan aguas abajo de las válvulas reguladoras de presión y tienen por objeto dejar pasar un caudal determinado para una presión determinada, el cual es función de la apertura de la válvula. No se deben utilizar válvulas de compuerta o mariposa como válvulas controladoras de caudal. Se recomienda el uso de válvulas globo u otro tipo de válvulas con previa aprobación de

EPM. En todo caso, las válvulas deben cumplir con lo especificado en el Capítulo 7 de las NEGC.

#### 5.7.2.8 Válvulas de cheque

En las tuberías de las redes de distribución de agua potable que estén localizadas aguas abajo de una bomba (línea de impulsión de la bomba), deben colocarse válvulas de cheque o de retención de contraflujos con el fin de evitar el retroceso del agua, con el consiguiente vaciado de la tubería y los posibles daños en las bombas o posibles aplastamientos de las tuberías. Las válvulas de cheque también se utilizan a la salida de instalaciones con doble tanque en los cuales, por problemas de diferencia de nivel, pueda entrar agua de un tanque a otro. En estos casos debe cumplirse con las normas técnicas correspondientes especificadas en el Capítulo 7 de las NEGC.

En sectores donde se evidencie el uso de otras fuentes de agua, se deberá instalar una válvula cheque en la acometida, para evitar el ingreso de esta agua en las redes de EPM, esta deberá instalarse entre la red de distribución y el medidor.

#### 5.7.2.9 Válvulas de purga o descarga

Estas son las válvulas utilizadas para la limpieza y descarga de la red, tanto en las redes de distribución secundaria, para lo cual podrán utilizarse válvulas de compuerta. El uso de estas válvulas esféricas se debe contemplar en aquellos sitios en los que la presión supere 40 m.c.a.

En todos los puntos bajos de la red de distribución deben colocarse válvulas de descarga o purga, o en su defecto un hidrante. El caudal de descarga debe conducirse al sistema de alcantarillado o al sistema de drenaje urbano del municipio. Salvo que exista una justificación debidamente aprobada por EPM, deben existir válvulas de descarga o purga o hidrantes en todos los puntos bajos de la red. En todo caso, las válvulas deben cumplir con lo especificado en el Capítulo 7 de las NEGC.

Para el diseño de las válvulas de descarga, el diseñador 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 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.

#### 5.7.2.10 Válvulas sostenedoras de presión

Estas son válvulas utilizadas para mantener una presión aguas arriba de ellas, independientemente de las variaciones de caudal. La válvula debe permanecer cerrada mientras la presión aguas arriba esté por debajo de la presión fijada en la válvula y abierta si la presión aguas arriba está por encima de la presión fijada. En todo caso, las válvulas deben cumplir con lo especificado en el Capítulo 7 de las NEGC.

#### 5.7.2.11 Válvulas de alivio

Estas válvulas tienen el objetivo de proteger la tubería contra excesos de presión ya sean causados por fenómenos de golpe de ariete o por operaciones anómalas en la red de distribución. Cuando la presión en la tubería supera un límite preestablecido, la válvula se abre generando una caída en la presión piezométrica. Cada válvula de alivio debe estar protegida con una válvula de cheque con el fin de evitar el retroceso del agua. En todo caso, las válvulas deben cumplir con lo especificado en el Capítulo 7 de las NEGC.

El caudal descargado por la válvula de alivio debe dirigirse directamente a una tubería de alcantarillado de aguas lluvias o a un canal de drenaje con la capacidad adecuada o a las corrientes naturales de agua, con la debida aprobación de la entidad competente.

### 5.7.2.12 Válvulas de sobre-velocidad

Estas son las válvulas utilizadas cuando se requiera cerrar o aislar una tubería ante un cambio repentino de caudal. En caso de que el caudal que pasa a través de la tubería esté por encima del caudal prestablecido, la válvula de sobrevelocidad se cerrará.

### 5.7.2.13 Cajas de las válvulas

Todas las válvulas que conformen el sistema de distribución de agua potable deben estar colocadas dentro de cajas que deben construirse tan pronto el tramo correspondiente sea colocado y aceptado por EPM. Las cajas deben cumplir con lo especificado en el Capítulo 7 de las NEGC y con los siguientes requisitos:

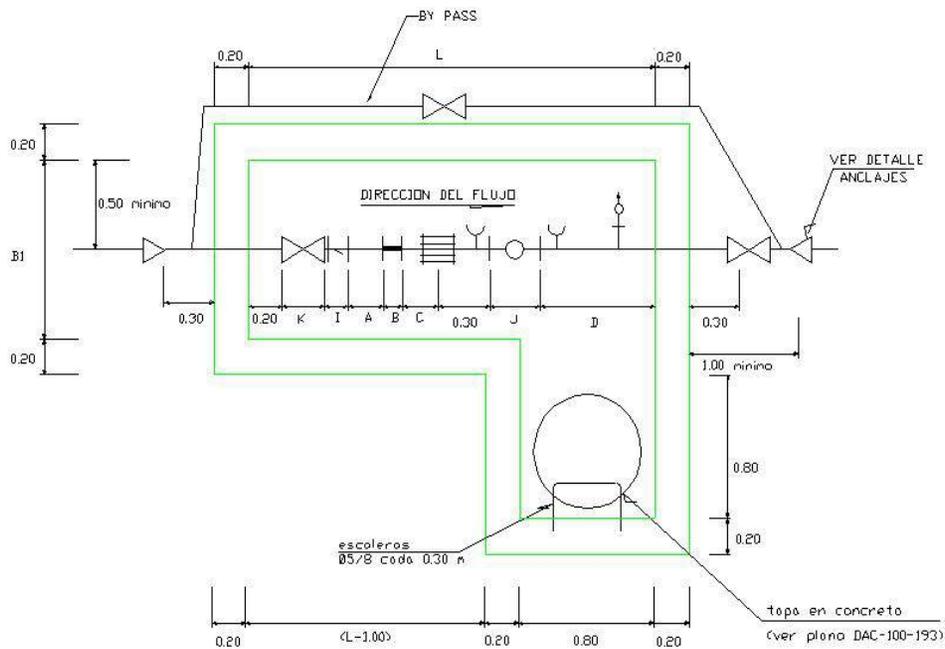
1. Las cajas de válvulas deben ser de mampostería de ladrillo o de concreto reforzado u otro material aprobado por EPM y deben ser rectangulares, cuadradas o cilíndricas.
2. El fondo de la caja debe ser de concreto con un espesor mínimo de 0.15 m.
3. Las cajas de válvulas deben tener un sistema de drenaje dirigido al sistema de alcantarillado o a uno de los cuerpos de agua del sistema de drenaje natural de los municipios atendidos por EPM.
4. La distancia entre el piso 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. Las tapas de las cajas para las válvulas deben ser de concreto reforzado o de un material aprobado por EPM y su espesor debe calcularse considerando las cargas vivas que van a actuar sobre

ellas; en todo caso no debe ser menor que 100 mm. En el caso de 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.

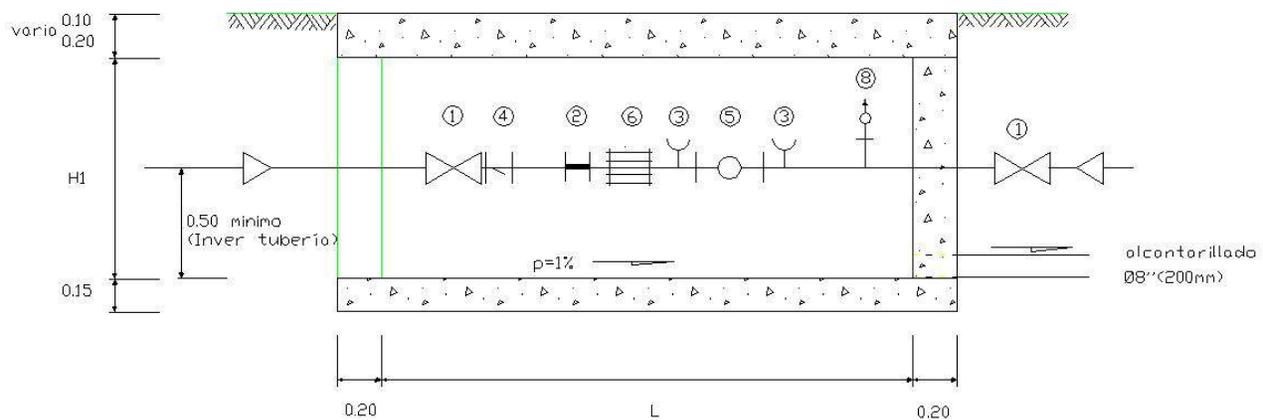
6. En caso de que la caja quede localizada en una vía de alto tráfico, su acceso debe hacerse lateralmente desde el andén. Deben hacerse consideraciones especiales, desde la etapa de diseño para aquellas cajas que estén en zonas verdes o al interior de instalaciones.

En el caso específico de las cajas para las estaciones reguladoras de presión, se debe incluir un dimensionamiento especial de éstas, debido al cálculo especial que tienen los diámetros de las válvulas reguladoras y al tipo de equipo de control hidráulico y el tipo de equipo electrónico que contengan. Estas cajas, las tapas de seguridad y las especificaciones de los elementos que componen las mismas, deberán cumplir con lo especificado en las NEGC. Las estaciones reguladoras de presión se especifican en el numeral 5.7.9.1 de esta norma.

El diseño de las válvulas (diámetros) y de las dimensiones de la caja que conforman la estación reguladora de presión debe seguir todo lo establecido en el Numeral 4.5.8.2 de esta norma. También se debe tener en cuenta la información del plano que este homologado por EPM, referente a Estaciones Reguladoras de Presión para válvulas con diámetros entre 50 mm y 250 mm, de las cuales se esquematizan una de las alternativas a continuación.



PLANTA TIPO I

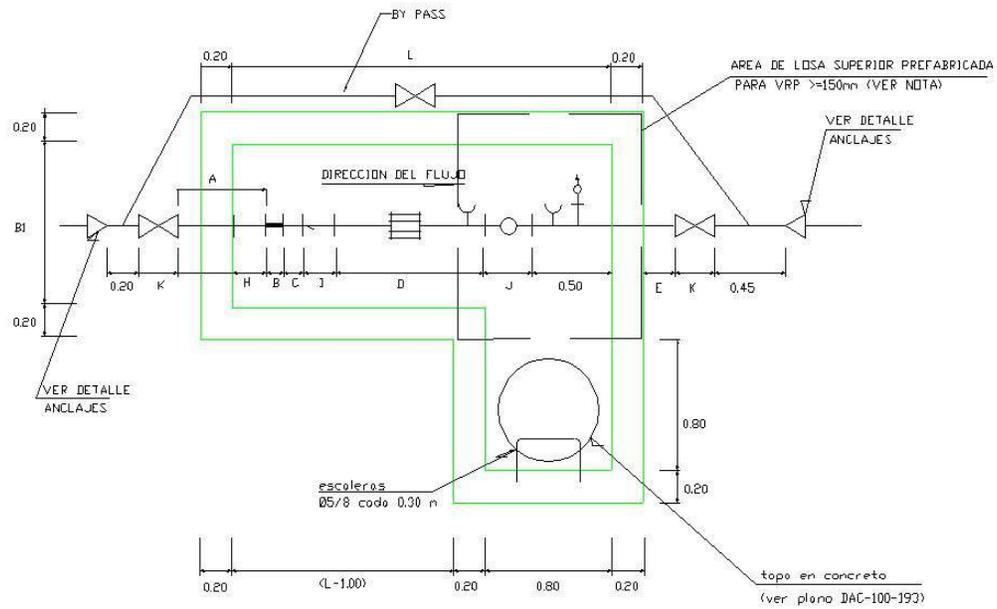


SECCION TIPO I

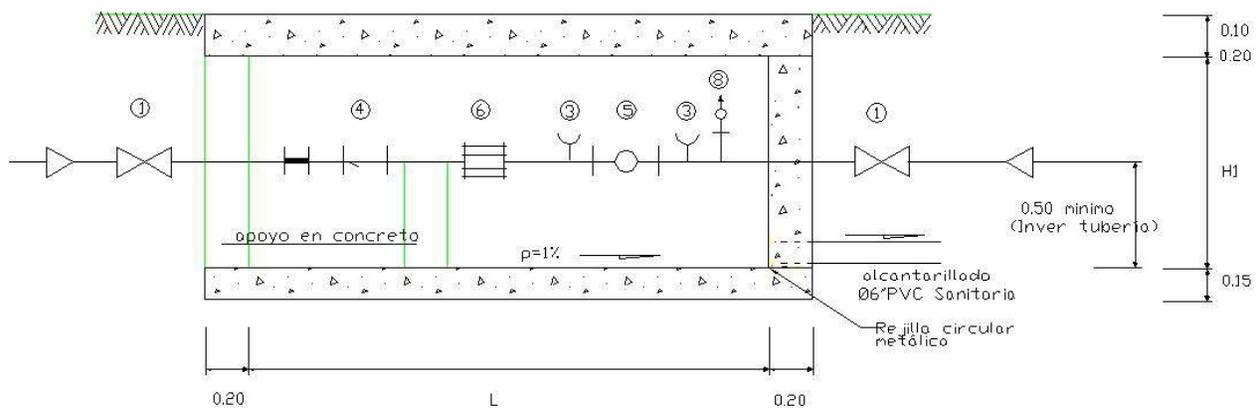
DIMENSIONES PARA ESTACIONES REGULADORAS DE PRESION CON MEDIDOR DE FLUJO TIPO I

DIAMETRO VRP		DIMENSIONES EN mm								DIMENSIONES DE LA CAJA (mm) L x B1 x H1	DIMENSIONES DEL ANCLAJE (mm) b x i x h
mm	plg	A	B	C	D	I	J	K	Ø		
50.8	2	720	200	300	400	220	203	180	219	2550x1500x2000	500x200x200
76.2	3	1100	200	410	400	360	267	200	219	3300x1500x2000	600x200x200

Figura 5-2 Esquema Estación Reguladora de Presión Tipo I



PLANTA TIPO II



SECCION TIPO II

DIMENSIONES PARA ESTACIONES REGULADORAS DE PRESION CON MEDIDOR DE FLUJO TIPO II

DIAMETRO VRP		DIMENSIONES EN MILIMETROS										DIMENSIONES DE LA CAJA (mm) L x B1 x H1		DIMENSIONES DEL ANCLAJE (mm) b x i x h			
mm	plg	A	C	D	E	H	M	J	J	Ø	B						
101.6	4	1450	310	400	250	300	600	416	343	230	250	2600	1500	2000	600	200	400
152.4	6	2200	450	400	300	350	600	515	432	281	300	3000	1600	2000	700	500	700
203.2	8	2850	570	400	300	400	600	581	559	402	350	3400	1600	2000	900	500	1000
254.0	10	3600	650	600	350	500	600	680	756	440	450	4200	1700	2000	1100	800	1200

Figura 5-3 Esquema Estación Reguladora de Presión Tipo II

### 5.7.3 Accesorios para el lavado de las tuberías

El diseño de la red de distribución debe tenerse en cuenta en el caso de lavados convencionales utilizando hidrantes, la cercanía al sistema de drenaje de alcantarillado o a un canal, quebrada o río que forme parte del sistema de drenaje natural de los municipios atendidos por EPM Uniones

#### 5.7.3.1 Uniones de montaje

El diseño debe prever uniones de montaje en todos los sitios donde haya necesidad de mantenimientos especiales o remplazo de algún equipo electromecánico, tal como es el caso de las válvulas y de las estaciones reguladoras de presión.

En general, debe cumplirse con lo establecido en el Capítulo 7 de las NEGC.

#### 5.7.3.2 Uniones de expansión

El diseño debe prever, en aquellos casos en que existan pasos aéreos en la red de distribución, con el fin de salvar obstáculos naturales tales como ríos, quebradas, depresiones u obstáculos artificiales como vías de metro, viaductos, etc., la existencia de uniones de expansión con el fin de absorber las dilataciones o contracciones debidas a

variaciones térmicas de la temperatura. Adicionalmente, el diseño debe prever uniones mecánicas de transición en los sitios de empalme de tuberías con diferentes diámetros externos.

En todo caso se debe cumplir con lo establecido en el Capítulo 7 de las NEGC y todas las Normas Técnicas Colombianas y las normas técnicas internacionales AWWA, ASTM, ISO, DIN o cualquier otra con la previa aprobación de EPM.

### 5.7.4 Apoyos de las tuberías

En aquellos casos en que el diseño considere la utilización de tuberías por fuera del terreno, deben colocarse apoyos para garantizar la estabilidad de las tuberías y que la deflexión de ésta no supere lo establecido por los fabricantes o lo establecido en las NEGC.

Los fabricantes de las tuberías deben especificar la longitud máxima para la colocación de apoyos, y éstas deben ser aprobadas por EPM. De todas formas, los apoyos de las tuberías deben localizarse a una distancia menor que 0.5 m desde la unión de la tubería que queda por fuera del terreno con otras tuberías o con alguno de los accesorios. Para el caso de tuberías de acero, se recomienda utilizar los valores establecidos en la Tabla 5-4, mostrada a continuación.

Tabla 5-4 Distancia entre apoyos de tuberías vistas, de acero

<i>Diámetro de tubería (mm)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Carga viva (kg/m)</i>	<i>Peso del líquido (kg/m)</i>	<i>Peso del tubo (kg/m)</i>	<i>Carga Total (kgf/m)</i>	<i>Longitud máxima entre apoyos (m)</i>
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

<i>Diámetro de tubería (mm)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Carga viva (kg/m)</i>	<i>Peso del líquido (kg/m)</i>	<i>Peso del tubo (kg/m)</i>	<i>Carga Total (kgf/m)</i>	<i>Longitud máxima entre apoyos (m)</i>
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 el caso en que las tuberías que queden por fuera del terreno sean de materiales plásticos que puedan ser afectados por la acción de la luz ultravioleta, éstos deben estar protegidos con pinturas que eviten su degradación. Este recubrimiento debe ser aprobado EPM.

### 5.7.5 Macromedidores

El diseño de la red de distribución debe prever la instalación de macromedidores para obtener datos de caudales de consumo que permitan hacer un balance de aguas en la red de distribución. Dicho balance 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.

Las especificaciones de los macromedidores serán las establecidas en el numeral 4.6.1 de esta norma.

También se recomienda que en las redes que alimentan las unidades de control operativo (UCO) se deje dispuesta la infraestructura requerida para mediciones temporales de caudal.

### 5.7.6 Salidas para mediciones

EPM definirá los casos en los que se requiere implementar las salidas para medición en las

tuberías de distribución de acuerdo con los siguientes criterios

El diseño debe incluir el uso de salidas para la medición de algunos parámetros, tales como caudal, presión y muestras de calidad de agua, cumpliendo con los siguientes requisitos:

1. Las salidas para mediciones deben tener un diámetro mínimo de 13 mm y deben colocarse en forma perpendicular a las claves de la tubería.
2. Las salidas para mediciones deben ubicarse máximo cada 500 m y 10 diámetros antes y después de un accesorio de control. En este último caso se entiende que el diámetro corresponde al diámetro de la tubería donde se instale la salida.
3. Las salidas para mediciones deben quedar perfectamente referenciadas en los planos de la red de distribución, de acuerdo con el sistema de información geográfica establecido por el SIGMA de EPM.

La localización y el número de puntos de medición deberá definirse con base en lo establecido en el RAS vigente, la resolución 811 de 2005 del Ministerio de Protección Social y Ministerio de Vivienda, Ambiente y Desarrollo Territorial, y la resolución 315 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo

Territorial y la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, o aquellas que los modifiquen, sustituyan o adicionen.

### 5.7.7 Dispositivos para autorregulación

Los dispositivos para autorregulación se deben utilizar cuando se necesite variar de forma permanente la presión de suministro en una válvula reguladora, debido a un cambio en la demanda, teniendo así un control activo de presión.

Estos dispositivos permiten disminuir el índice de roturas, la cantidad de agua pérdida 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.

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.

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:

$$P_{programada} = P_{salidaVRP} - (P_{actualp.critico} - P_{deseadap.critico})$$

**Ecuación 5.8**

Donde

$P_{programada}$  = Presión programada en el dispositivo (m.c.a.)

$P_{salidaVRP}$  = 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, definida por esta norma en 20 m.c.a.

En todo caso, las reglas de operación de este tipo de dispositivos deben ser evaluadas y analizadas haciendo uso del modelo hidráulico de la red de EPM.

Se mencionan algunos criterios para proponer controles activos en las estaciones reguladoras:

1. Cuando la diferencia de presión de entrada en la válvula reguladora entre las horas de máximo y mínimo consumo es considerable permite que se presente un amplio rango de maniobra para la programación del control activo,.
2. Cuando el sector atendido por la estación reguladora de presión es de tamaño considerable.
3. Cuando la presión de salida de la válvula reguladora es superior a 22 mca.
4. Cuando aguas abajo de la VRP no existan otras VRP que limiten el área de cobertura.

### 5.7.8 Hidrantes

#### 5.7.8.1 Aspectos generales de los hidrantes

Los hidrantes proyectados desde la etapa de diseño de la red de distribución de agua potable deben ser de columna o pedestal de 75, 100 o 150 mm de diámetro de acuerdo al nivel de complejidad del sistema y a la presión en el punto de instalación, estos deben controlarse por válvulas del mismo diámetro. En todo caso, los hidrantes deben soportar una presión nominal de trabajo 108 m.c.a (1.06 MPa) y una presión de prueba de 216 m.c.a (2.12 MPa), y se debe tener en cuenta lo establecido en el capítulo 7 de las NEGC y en las normas ASTM A 126 CL B, ASTM D 2000, ASTM 147 8A, ASTM B 62 y AWWA C 502.

### 5.7.8.2 Capacidad hidráulica de los hidrantes

La capacidad hidráulica mínima de los hidrantes debe ser 32 L/s.

### 5.7.8.3 Diámetros nominales mínimos de hidrantes

Los diámetros nominales mínimos de los hidrantes instalados en la red de distribución de agua potable son 75 mm y 100 mm, para tuberías de hasta 150 mm de diámetro. Los hidrantes de 150 mm de diámetro se deben instalar en tuberías de 150 mm de diámetro y mayores. En todo caso el diámetro de los hidrantes deberá cumplir con los requerimientos hidráulicos.

### 5.7.8.4 Distancia máxima entre hidrantes

En el caso de zonas residenciales, debe instalarse 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 zonas industriales y comerciales debe ponerse un hidrante a una distancia no mayor de 100 m.

### 5.7.8.5 Localización de los hidrantes

El diseño de la red de distribución de agua potable, debe garantizar que la localización de hidrantes cumpla con los siguientes requisitos:

1. Los puntos de localización de hidrantes deben ser definidos mediante la localización en planos de las áreas comerciales, las áreas industriales, los edificios de uso público y los edificios cuya preservación interese a la comunidad (edificios históricos, edificios de conservación arquitectónica, patrimonios culturales, etc.). Esta localización se debe hacer mediante planos de catastro municipal y en el sistema de información geográfica definido por el SIGMA de EPM.
2. Los hidrantes deben instalarse entre dos lotes o edificaciones, sobre el andén o en una zona verde anexa a éste.
3. Cuando los hidrantes se coloquen en el andén, estos no deben instalarse a una distancia mayor que 0.3 m del borde

exterior hacia adentro, hasta el eje del hidrante.

4. Cuando los hidrantes se instalen sobre una zona verde, no deben colocarse a una distancia menor que 0.5 m del borde exterior hacia adentro, hasta el eje del hidrante.
5. Los hidrantes deben instalarse alejados de obstáculos que impidan su correcto uso.
6. Las bocas de salida de los hidrantes deben quedar apuntando hacia la calle.
7. Para la correcta colocación del hidrante, el diseño debe prever tantas extensiones como sean necesarias para que el hidrante quede saliente en su totalidad por encima del nivel de la rasante del terreno.

### 5.7.8.6 Presión en los hidrantes

El diseño de la red de distribución debe garantizar, que para las condiciones del Caudal Máximo Horario QMH, proyectado al período de diseño de la red de distribución, la presión mínima en los hidrantes debe ser 20 m.c.a. (196 KPa).

Con respecto a las presiones de trabajo, la presión mínima de trabajo de los hidrantes debe ser de 108 m.c.a. (1060 KPa) y deben soportar una presión de prueba de 216 m.c.a. (2120 KPa).

### 5.7.8.7 Instalación y anclaje de los hidrantes

En la base del hidrante, el diseño de la red de distribución debe prever la construcción de un anclaje, 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 vigente, o aquel que lo remplace. Los hidrantes deben ser protegidos interna y externamente de acuerdo con el recubrimiento establecido en la NEGC de hidrantes y la norma AWWA C 550.

### 5.7.8.8 Color de los hidrantes

El diseño debe prever el color de los hidrantes, de acuerdo con el caudal máximo horario en el momento de entrada en operación 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

### 5.7.9 Estructuras complementarias para las redes de distribución

Las redes de distribución de agua potable de EPM podrán contemplar estructuras complementarias con el objetivo de garantizar una correcta prestación del servicio, en cuanto a las presiones mínimas y máximas y en cuanto a los caudales entregados en cada uno de los nudos de la red. Estas estructuras complementarias deben quedar incluidas dentro del diseño de la red.

#### 5.7.9.1 Estaciones reguladoras de presión

El uso de este tipo de estación debe preverse siempre y cuando se cumplan 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 circuito o subcircuito hidráulico inmediatamente aguas 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 numerales 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 circuito o subcircuito 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.

Las válvulas reguladoras de presión de estas estaciones deberán cumplir con lo establecido en el numeral 5.7.2.4 de esta norma.

De acuerdo a la aplicación la estación reguladora de presión deberá tener los siguientes elementos:

1. Válvula reguladora de presión.
2. Filtro en "Y".
3. Válvulas de corte.
4. Unión universal
5. Reducciones excéntricas
6. Válvulas de admisión y expulsión de aire (con válvula de guarda).
7. Válvula globo para by pass
8. Tubería y accesorios (Acero y PEAD)
9. Tomas de presión (1/2" en inoxidable)
10. Anclajes
11. Bridas y tornillería
12. Caja de la estación reguladora de presión
13. Drenaje (tubería y pendiente)
14. Válvula antiretorno (para el drenaje)
15. Tapa de seguridad

Todos los elementos de la estación reguladora de presión, deberán cumplir lo establecido en las NEGC.

#### 5.7.9.2 Anclajes

Los anclajes son necesarios para garantizar la estabilidad de las tuberías y los accesorios que conforman la red de distribución, en los sitios donde ocurran cambios de dirección de flujo, disminución de diámetros de tubería, aumento de diámetros de tubería, división de caudales, en aquellos sitios en los cuales la tubería no cuente con los mecanismos necesarios para soportar los esfuerzos hidrodinámicos causados por estos cambios en el flujo, o en sitios en los cuales la tubería no se encuentre lo suficientemente profunda para que su interacción con el suelo le permita trabajar a fricción.

Para el diseño de los anclajes se deben tener en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Deben ser macizos de concreto reforzado, 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. Para el cálculo se debe tener en cuenta las condiciones del suelo y las presiones estáticas máximas desde el tanque del circuito.
  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 espigos y campanas de tuberías no pueden quedar dentro del anclaje y se debe respetar una distancia mínima de 10 cm de la campana-espigo o brida, o unión de desmontaje. Este criterio no aplica para las tuberías de GRP.
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 Numeral 5.4.13.
  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 de 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 metro 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 todos los cruces de las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable con tuberías del sistema de alcantarillado, ya sea de aguas

### 5.7.9.3 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 especiales, corredores del metro, quebradas, ríos o canales de drenaje, u otros obstáculos naturales o artificiales, y no sea posible la instalación de tubería enterrada con su debida protección, incluyendo el uso de tecnologías sin zanja, se deben proyectar estructuras especiales con el objetivo de garantizar la seguridad de las tuberías. Estas estructuras deben resistir las cargas y los esfuerzos resultantes de la colocación de la tubería.

Entre otras cosas, el diseño de la red de distribución debe garantizar que las estructuras especiales cumplan con los siguientes requisitos:

1. Estar construidas en metal, mampostería, concreto, o cualquier otro tipo de material aprobado por las Empresa Públicas de Medellín, y conformar puentes, pasos colgantes y túneles.

residuales, aguas lluvias o combinado, los conductos de la red de distribución de acueducto deben colocarse por encima de las tuberías de aguas residuales.

9. En caso de que una o varias de las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable crucen quebradas u otras estructuras que no puedan removerse, 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 hacerse 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 Numeral 5.5.6. 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.

## 5.8 ACOMETIDAS Y MEDIDORES

### 5.8.1 Acometidas domiciliarias

La acometida domiciliaria es la derivación de la red de distribución local de acueducto que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios la acometida llega hasta el registro de corte general. A continuación se presentan los esquemas de acometidas típicas que se deben utilizar en los proyectos de redes de distribución de agua potable para EPM:

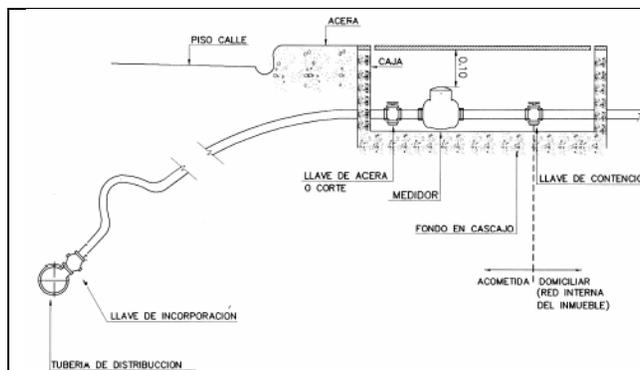


Figura 5-4. Esquema de Acometida Diámetro 13 mm.

Existen tres tipos de acometidas aprobadas por EPM las cuales son las acometidas individuales; las acometidas para edificios de propiedad horizontal, urbanizaciones cerradas o condominios; y las acometidas conjuntas.

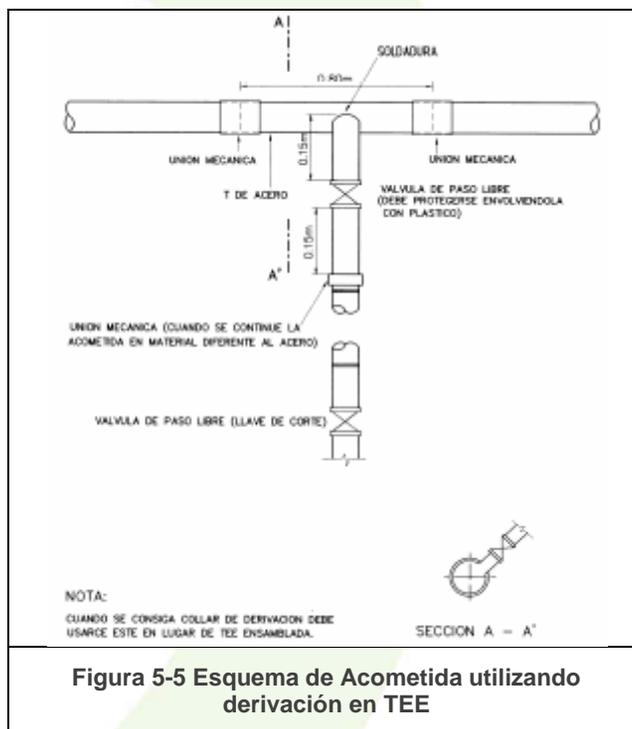


Figura 5-5 Esquema de Acometida utilizando derivación en TEE

Toda acometida domiciliaria 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.

### 5.8.1.1 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 hacerse 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 que 250 mm.
6. El material de la tubería de 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 tubería PVC RDE 21 para diámetros mayores que 50 mm, siempre que se cumpla con la

Norma Técnica Colombiana 382 y se tengan en cuenta las profundidades mínimas para su instalación previa aprobación de EPM.

### 5.8.1.2 Acometida para edificios propiedad horizontal, urbanizaciones cerradas o condominios.

El suministro de acueducto en edificios de propiedad horizontal, urbanizaciones cerradas y condominios debe realizarse a través de una acometida única, con capacidad suficiente para la demanda de todos los inmuebles que conforman la copropiedad.

Los urbanizadores deben incluir dentro del reglamento de propiedad horizontal, la acometida y demás elementos de uso común que surte de agua potable la copropiedad, y se debe dar cumplimiento a lo establecido en la ley 675 de 2001 “Régimen de propiedad horizontal” o aquella que la actualice o lo remplace.

En aquellas edificaciones o copropiedades en las que no sea posible la medición de todos los consumos de acueducto de la copropiedad o porque tienen sistema de bombeo, debe instalarse un medidor general en esta acometida, que permita la cuantificación del consumo total en la copropiedad.

### 5.8.1.3 Acometidas conjuntas

Para el caso de viviendas unifamiliares, bifamiliares y locales, cuyo frente sea máximo de 6.0 m puede autorizarse la construcción de acometidas conjuntas, es decir, una sola tubería alimentando simultáneamente dos o más medidores (hasta 4).

La acometida conjunta debe cumplir con los demás requisitos establecidos en el numeral anterior para las acometidas individuales. Sin embargo debe tener un diámetro mínimo de 25 mm, en tanto que el medidor y la tubería de cada vivienda deben tener un diámetro de 13 mm, previa verificación hidráulica.

Los urbanizadores deben adicionar una cláusula a las escrituras, en los siguientes términos: “El comprador declara tener

conocimiento de que la acometida de acueducto desde la red principal hasta los medidores de los inmuebles marcados en sus puertas con los números (números de las viviendas) es compartida por los inmuebles. Por tal motivo, cualquier costo de reparación en dicha acometida será pagado por partes iguales entre los propietarios que utilicen la acometida”.

### 5.8.2 Medidores domiciliarios

Sin perjuicio de lo establecido en la Ley 373 de 1997 y la Ley 142 de 1994, es obligatorio colocar medidores domiciliarios para cada uno de los suscriptores individuales del servicio de acueducto. Las excepciones a esta regla están establecidas en dichas leyes.

Las especificaciones de los medidores están establecidas en el Decreto 1824 de 2011 de EPM, o el que lo modifique, adicione o remplace.

En el caso de edificios o conjuntos multifamiliares donde no sea posible realizar la medición de todos los consumos o se cuente con tanques de succión y bombeo, debe existir un medidor general inmediatamente aguas abajo de la acometida. 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, la acometida debe prever el uso de dos medidores simultáneos. El primero de ellos preferiblemente debe ser de tipo mecánico y el segundo debe ser de tipo electrónico de acuerdo a lo especificado en el capítulo 7 de las NEGC.

En la instalación del medidor, el diseño debe tener en cuenta que el diámetro de los niples debe ser igual al del medidor, la longitud del niple aguas arriba debe ser por lo menos 12 veces el diámetro del medidor y la del niple aguas abajo debe ser por lo menos 3 veces el diámetro del medidor. El material de los niples y de los accesorios debe ser cobre tipo K, PEMD o PCV RDE-21.

Los micromedidores deben instalarse de tal forma que se garantice su fácil montaje y desmontaje, al igual que debe ser colocado sin obstáculos para la lectura. Los medidores podrán instalarse con tapas y cajas convencionales en concreto, o por cajas tipo gabinete, empotradas en los muros de las fachadas de las viviendas.

## 5.9 REFERENCIACIÓN DE COMPONENTES

La referenciación de la red debe estar en planos del sistema de información geográfica especificado por el SIGMA de EPM.

### 5.9.1 Convenciones que deben utilizarse

Las tuberías, válvulas e hidrantes referenciados se deben numerar y encerrar en figuras convencionales, al incluirse en los planos de catastro y en los planos de la red de distribución de EPM como en la Tabla 5-5.

Tabla 5-5 Convenciones

			Tramos de Tuberías	
				Válvulas
				Hidrantes

En todo caso se debe seguir el “Manual para la referenciación de redes de acueducto y alcantarillado”, en su versión vigente<sup>10</sup>.

### 5.9.2 Referenciación de las redes de acueducto

Para la referenciación de las redes de acueducto debe utilizarse el “Manual para la referenciación de redes de acueducto y

<sup>10</sup> [http://www.EPM.com/epmcom/contenido/proveedores/manuales/manual\\_aguas/index.htm](http://www.EPM.com/epmcom/contenido/proveedores/manuales/manual_aguas/index.htm)

alcantarillado” de EPM en su versión vigente, y todo lo establecido en el Numeral 4.7.2 de esta norma.

## 5.10 PROYECTOS URBANISTICOS

En el caso de diseño de redes para Proyectos Urbanísticos, el urbanizador debe acogerse a lo establecido en esta norma y tener en cuenta los aspectos mencionados en los siguientes numerales.

### 5.10.1 Requisitos para aprobación del diseño

El diseño de la red de acueducto para un proyecto urbanístico debe cumplir con los siguientes requisitos mínimos, para que sea aprobado por EPM:

1. Factibilidad de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado. La vigencia de las factibilidades para la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y/o alcantarillado se otorga para un plazo de dos años, contados a partir de su fecha de expedición, y se sujeta a la condición de que se mantenga la capacidad de las redes existentes desde las cuales se hubiese otorgado la factibilidad. En consecuencia, el constructor y/o urbanizador deberá solicitar la revisión de la factibilidad en caso de que la capacidad de tales redes se comprometa por una modificación en la normatividad nacional o en los planes de ordenamiento territorial de los municipios en los que se pretenda desarrollar el proyecto, como también en caso de cambio en la información contenida en la solicitud inicial de la Factibilidad.
2. Licencia de urbanismo y/o construcción emitida por la entidad competente en cada Municipio, permiso de ocupación espacio público, entre otros.
3. Amarre geodésico aprobado por el Departamento Administrativo de Planeación.
4. 3. Información de Planes de Ordenamiento Territorial del municipio donde se desarrollará el proyecto: Usos del suelo del sector, densidades, vías proyectadas, tratamientos e intervenciones.
5. Archivo magnético del proyecto urbanístico.
6. Planteamiento general del trazado de las redes proyectadas de acueducto y alcantarillado.
7. Investigaciones realizadas en el sitio sobre las redes en operación de todos los servicios de orden público y privado que interactúen en la zona de estudio, con el fin de determinar cuál sería su incidencia con los proyectos que se diseñen. Desde la etapa de diseño, mínimo debe elaborarse un contrato de promesa de compraventa para la servidumbre, la cual debe estar constituida antes del inicio de la construcción del proyecto. Para la aprobación del diseño el Urbanizador debe presentar como mínimo la carta de intención de constitución de la servidumbre adjuntando el certificado de libertad del predio.
8. Debe considerarse la evaluación de los escenarios de diseño que se deben presentar cuando con la construcción de las redes se van a atender otras áreas potenciales de desarrollo urbanístico, para determinar el posible reconocimiento económico.
9. Utilización de los aplicativos de cálculo definidos por EPM a través de sus procedimientos.
10. Presentación de estudios geotécnicos, de suelos, estructurales, de presencia de nivel freático y otros, con los cuales se determinen las obras, accesorios y detalles a tener en cuenta durante el diseño y construcción de las redes para garantizar un adecuado servicio. Adicionalmente, cuando un proyecto urbanístico tenga presencia de aguas subterráneas o de abatimiento de nivel freático, acorde con el estudio de suelos que en todos los casos debe informar al respecto, se debe tener en cuenta que éstas deben de ser conducidas en forma

independiente a la fuente de agua más cercana, sin considerar la conexión a las redes públicas de alcantarillado. De no ser posible, se pueden conectar a las redes públicas de aguas lluvias, lo cual generará un cobro adicional en la factura por concepto de vertimiento de nivel freático, y esta alternativa deberá de ser presentada ante EPM para su consideración, adicionando la verificación de capacidad hidráulica de la red receptora en la etapa de diseño. Esta última situación en el evento de ser aprobada por EPM, deberá quedar consignada en el reglamento de Propiedad Horizontal de los proyectos urbanísticos.

Habiendo cumplido con las normas y requisitos acorde con el proyecto, la aprobación del proyecto es válida por dos años. Cumplida la caducidad, EPM debe aceptar lo construido durante la vigencia; lo restante debe ser sometido a una revisión de EPM desde la factibilidad y diseños.

### 5.10.2 Alcance

Todo diseño de una red de distribución para proyecto urbanístico debe cumplir con lo establecido en la normatividad de EPM, la Ley 142/94, sus decretos reglamentarios y los que la replacen, adicionen o modifiquen, para la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado en todo el territorio nacional. Además, el diseño también debe hacer referencia a lo estipulado por el RAS vigente.

En lo referente a los aspectos técnicos de las redes internas, debe acogerse a lo establecido en el código de fontanería NTC 1500 y los que lo replacen, adicionen o modifiquen.

### 5.10.3 Consideraciones generales

En el diseño de redes de distribución de agua potable para urbanizaciones, se deben tener en cuenta además las siguientes consideraciones generales:

1. Todas las redes de distribución requeridas para el abastecimiento de acueducto para proyectos urbanísticos deben ser diseñadas y construidas por los urbanizadores y/o constructores responsables del proyecto, de acuerdo con lo establecido en la factibilidad de la prestación de servicios de acueducto y alcantarillado.
2. Todos los empalmes de las redes nuevas de los proyectos urbanísticos a las redes existentes deben hacerse con el sistema de Tee partida, excepto en aquellos casos donde por las características particulares del proyecto sea inevitable la suspensión del servicio de acueducto.
3. EPM garantiza la prestación del servicio directamente desde la red pública a edificaciones hasta con 3 pisos de altura, con altura máxima de 9 m desde la rasante de la vía hasta el tercer piso. Los edificios con 4 o más pisos de altura deben contar con su propio sistema hidroneumático o de aumento de la presión interna, acompañados por su propio el tanque de succión. En ningún momento se permite el bombeo directo desde la red de distribución. Solo se aprobará sistema mixto de conexión del servicio, es decir abastecimiento por gravedad hasta el tercer piso y por bombeo en pisos superiores, cuando la edificación cuente con Administración de la copropiedad debidamente constituida.
4. Para todo lo relacionado con el posible reconocimiento económico que deba efectuársele a los urbanizadores y constructores deberá tenerse en cuenta lo establecido en el artículo 2 del decreto 229 del año 2002 o el que lo reemplace. No se realizarán reconocimientos económicos al interior de los planes parciales de acuerdo con los planes de ordenamiento territorial.

### 5.10.4 Parámetros de diseño

Para el diseño de redes de distribución de agua potable, que abastezcan proyectos urbanísticos, además de lo establecido en esta

norma, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

1. Las redes de acueducto deben conformar mallas a menos de que exista algún impedimento técnico. En el caso de que existan ramales abiertos, éstos deben finalizar en un hidrante o válvula de descarga que permita el lavado periódico de la red de distribución.
2. Para garantizar la calidad del agua en las redes internas de los proyectos urbanísticos se debe incluir en el diseño la instalación de todos los accesorios necesarios para el descargue y limpieza de la red interna.
3. Las redes de distribución de agua potable deben prolongarse para cubrir completamente el frente del lote, con el fin de atender futuros abastecimientos, y no ser interrumpidas en el sitio de entrada de la vivienda o edificación..
4. Las redes de distribución de agua potable deben tenderse por las calzadas, salvo en casos excepcionales. En estos, el diseño debe especificar el tipo de protección de las tuberías y el tipo de señalización y/o servidumbres que crucen por predios privados o zonas verdes.
5. En todos los casos se debe cumplir con lo estipulado en el Numeral 5.6.5 “Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos” de esta norma, en cuanto a la separación de las redes de distribución de agua potable con respecto a otras redes de servicios públicos.
6. Los urbanizadores deben ser responsables por la afectación de las redes de servicios existentes que pasen por los lotes del proyecto urbanístico y efectuar las reubicaciones en caso de que exista una aprobación previa por parte de EPM.
7. Las redes locales construidas serán entregadas a la entidad prestadora de los servicios públicos, para su manejo, operación, mantenimiento y uso dentro de sus programas locales de prestación del servicio, por lo tanto aquellas redes que no están sobre vía pública deberán tener constituida servidumbre a nombre de la empresa prestadora del servicio, como requisito previo para iniciar la supervisión de construcción por parte de EPM. Las redes que no estén en vía pública deberán instalarse mojones en todo el trayecto de acuerdo con el Manual de Referenciación de redes de acueducto de EPM.
8. El ancho de las servidumbres debe ser el mínimo que permita en forma cómoda realizar las tareas de inspección y mantenimiento de la línea de distribución y que garantice la seguridad de la infraestructura de las redes de distribución y de las construcciones aledañas. El ancho de servidumbre debe ser mínimo de 3 m en la proyección horizontal, garantizando siempre una distancia mínima de 1,5 m a ambos lados del eje de la tubería; esta distancia depende del diámetro de la tubería, de las condiciones de instalación, de la facilidad de acceso, de la pendiente, de la circulación del tráfico en la vía y del espacio para maniobras de los equipos. La servidumbre debe estar libre de cualquier tipo de construcciones en altura o elementos de amoblamiento urbano. La localización de la servidumbre debe estar plasmada en los planos de diseño y construcción. El diseño también debe incluir las recomendaciones relacionadas con labores de mantenimiento que se deben hacer a estas servidumbres de acuerdo con sus condiciones y al tipo de intervenciones que se pueden hacer en ellas.
9. Los diseños deben contemplar el dimensionamiento de la acometida y del medidor, teniendo en cuenta, entre otros aspectos, el tipo de abastecimiento del proyecto urbanístico, el diseño del tanque de almacenamiento y los tiempos de llenado.
10. El diseño debe considerar acometidas y medidores independientes en los proyectos que tengan dotación contra incendios o hidrantes privados. En este

caso se debe seguir todo lo establecido en el Decreto 302 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico y su Decreto Modificatorio 229 de 2002.

### 5.10.5 Protocolo de pruebas

El diseñador de la red de distribución de agua potable para urbanizaciones privadas, debe especificar un protocolo de pruebas, como se establece en el numeral 5.5.10 de este capítulo.

## 5.11 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

Una vez que la red de distribución diseñada ha finalizado su período de construcción, se deben hacer las siguientes pruebas descritas en los Numerales 5.11.1 a 5.11.7. Estas pruebas deben estar de acuerdo con el protocolo de pruebas establecido por el diseñador de la red de distribución, tal como se mencionó en los numerales anteriores.

### 5.11.1 Presiones en la red de distribución

#### 5.11.1.1 Presiones hidrostáticas y estanqueidad

Una vez finalizada la construcción de la red de distribución o la ampliación de una red existente, se deben llevar a cabo pruebas sobre todas las tuberías instaladas, con una presión igual a la presión máxima de diseño a la que la tubería vaya a estar sometida, de acuerdo con su diseño.

El procedimiento para la realización de prueba de presión hidrostática, será de acuerdo a la NEGC 704 vigente.

#### 5.11.1.2 Presiones dinámicas y alturas piezométricas

Con el fin de verificar lo establecido en el protocolo de pruebas del diseño de la red de distribución, debe medirse la altura piezométrica en diferentes puntos de la red

para condiciones extremas de flujo, incluyendo el caudal máximo horario (QMH) extendido al período de diseño del proyecto, el caudal medio diario ( $Q_{md}$ ) tanto para el período de diseño de la red como para las condiciones iniciales, el caudal mínimo nocturno para las condiciones actuales y en general cualquier otra condición de flujo, resultado de operaciones especiales, recomendadas en el protocolo de pruebas. En todo caso, los puntos que se midan deben incluir aquellos nudos que, de acuerdo con el diseño, presenten las presiones máximas y las presiones mínimas para la condición de operación hidráulica de la red, en el momento de puesta en marcha del sistema.

Los datos deben ser incluidos en el informe de resultados del protocolo de la puesta en marcha y ser enviados al Área de responsable de la operación.

Los resultados de campo deben confrontarse con aquellos arrojados por el modelo hidráulico de la red de distribución de agua potable, operando bajo las mismas condiciones de prueba. Se deben realizar las verificaciones y ajustes necesarios para que los resultados de campo estén de acuerdo con el diseño.

### 5.11.2 Desinfección de la red de distribución

En cumplimiento del artículo 9 del Decreto 1575 de 2007 o la norma que lo modifique, reemplace o sustituya, antes de poner en servicio cualquier red de distribución o ampliación a redes de distribución existentes, ésta debe ser desinfectada. La desinfección debe ser hecha por el constructor de la red de distribución, cumpliendo el procedimiento según la norma NTC 4246 o la AWWA C 651.

### 5.11.3 Golpe de ariete

Una vez finalizada la instalación de la red de distribución de agua potable, debe hacerse una prueba para verificar lo establecido en el protocolo de pruebas del diseñador con respecto a fenómenos de golpe de ariete, es decir, someter la red de distribución durante la prueba hidrostática a la presión de diseño

como se especifica en las NEGC. Se debe verificar que las presiones estén dentro de los rangos calculados y que las estructuras de atenuación de los fenómenos de golpe de ariete estén operando adecuadamente.

#### 5.11.4 Válvulas

Las válvulas instaladas deben cumplir las especificaciones y características garantizadas establecidas en el diseño, respaldado por las pruebas de fábrica y fichas técnicas.

En el momento de finalización de construcción de la red de distribución deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos referentes a la puesta en marcha de las válvulas que conforman el sistema.

##### 5.11.4.1 Equipo electromecánico

Para todas las válvulas mecánicas o equipos electromecánicos, debe verificarse el correcto funcionamiento antes de poner en servicio la red y solicitar los certificados de calidad y pruebas en fábrica.

##### 5.11.4.2 Presiones

Todas las válvulas que conforman la red de distribución, antes de ser instaladas, deben ser operadas para asegurar su correcto funcionamiento. Todos los cuerpos de las válvulas deben probarse antes de la instalación a 1.5 la presión nominal y la hermeticidad del sello debe probarse a 1.1 veces la presión nominal. Estas pruebas deben realizarse en fábrica. Una vez instaladas se someterá a la presión de diseño durante la prueba hidrostática. Presión de diseño es igual a la presión máxima multiplicado por un factor (k), Para conducciones y redes de distribución  $k=1.1$ ; para impulsiones  $k=1.35-1.4$ .

##### 5.11.4.3 Válvulas reguladoras de presión

Deberán realizarse las pruebas de presión y hermeticidad establecidas para la puesta en marcha de la red.

En el caso específico de válvulas reguladoras de presión, además de las pruebas de presión y hermeticidad establecidas para la puesta en marcha de la red mencionadas en los

numerales anteriores, antes de su instalación, se deberán entregar las curvas de capacidad y de reducción de presión en función de la posición de apertura de la válvula, las cuales deben ser suministradas por un laboratorio acreditado.

##### 5.11.4.4 Estaciones reguladoras de presión

En el caso de 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 hacerse 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.

En caso de ser especificado un medidor de caudal en la estación reguladora, antes de su instalación se deberán entregar los certificados de calibración de los medidores de caudal y de presión, los cuales deberán ser suministrados por un laboratorio acreditado.

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.

##### 5.11.4.5 Válvulas de descarga

En todas las válvulas de descarga o purga que existan en la red de distribución de agua potable, debe verificarse su correcto funcionamiento mediante una descarga controlada de caudal, así como 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.

#### 5.11.4.6 Ventosas

En todas las ventosas que existan en la red de distribución de agua potable, deben hacerse las pruebas correspondientes que aseguren su correcto funcionamiento para las diferentes condiciones normales y especiales de operación establecidas en el protocolo de pruebas, verificando que todas ellas queden cubiertas.

Las ventosas deben cumplir con las Normas Técnicas Colombianas correspondientes o con la norma AWWA C512 y la NEGC correspondiente.

#### 5.11.4.7 Delimitación de sectores hidráulicos

En el caso de que la red de distribución diseñada se encuentre dividida en circuitos, subcircuitos y UCOS, de acuerdo con la hidráulica y los criterios de sectorización, y especialmente en el caso de ampliaciones a redes de distribución existentes, debe verificarse la delimitación de cada uno de estos sectores hidráulicos de la red, operando las diferentes válvulas provistas para tal función.

Debe procederse a cerrar las válvulas y a verificar que en la zona delimitada, la presión se mantenga a lo largo de un período de prueba no inferior a 24 horas. En el caso de válvulas de cierre que conecten dos o más sectores hidráulicos, con el propósito de permitir operaciones especiales, su funcionamiento se debe verificar abriendo las válvulas y simulando la flexibilidad operativa, la cual debe estar establecida en el protocolo de pruebas dado por el diseñador.

Las nuevas condiciones de presión deberán ser comunicadas a los clientes con anticipación y deberá ser coordinada con las dependencias operativas y comerciales de la empresa prestadora de servicio.

#### 5.11.5 Hidrantes

Una vez finalizada la construcción de la red de distribución de agua potable o una ampliación de ésta, debe verificarse la operación de los hidrantes.

Para cada uno de los hidrantes que forman parte de 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 del hidrante cuando se encuentre operando a máximo caudal y el color del hidrante establecido en el diseño. Las pruebas deben poner especial atención a que haya una correspondencia entre el color del hidrante y el caudal de salida de acuerdo con lo establecido en el Numeral 5.7.11 de este capítulo.

El aforo de los hidrantes para definir su color se debe realizar en horas de mayor consumo.

#### 5.11.6 Acometidas

Antes de proceder a la instalación de todos los accesorios que conforman las acometidas domiciliarias de acuerdo con el diseño de la red de distribución, deben someterse los medidores, las piezas especiales y los accesorios a aprobación y homologación por parte de las Empresas Públicas de Medellín, por lo menos 60 días antes de la instalación en la red de distribución.

Cuando se trate de una reposición o construcción de red paralela, se debe verificar que todas las acometidas queden conectadas a la nueva red. En el protocolo de puesta en marcha se debe dejar registro del inventario de acometidas que fueron trasladadas.

#### 5.11.7 Macromedidores

Antes de proceder a la instalación de los macromedidores en la red de distribución de agua potable, tanto de caudal como de presión, deben garantizar el correcto funcionamiento de éstos. Los macromedidores deben ser probados en el laboratorio de la empresa o en

laboratorios certificados en su país de origen según normas ISO, AWWA, DIN, o ASTM.

En caso de macromedidores especiales, EPM pueden aceptar la calibración presentada por el fabricante, siempre y cuando éstas cumplan con lo establecido en la NEGC de medidores.

### 5.11.8 Micromedidores

Antes de proceder a la instalación de los micromedidores domiciliarios, debe llevarse a cabo una prueba para verificar la exactitud de éstos en el laboratorio de micromedidores de EPM. Las pruebas de los micromedidores deben llevarse a cabo con los caudales establecidos en las normas técnicas NTC-1063 en su versión vigente. Con el caudal de sobrecarga no debe obtenerse una pérdida de altura piezométrica superior a 10 m.c.a. (98.1 KPa).

## 5.12 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN

### 5.12.1 Presiones en la red de distribución

Los puntos de verificación de presiones en la red, deben ser definidos desde la etapa de diseño, cumpliendo con lo establecido en el RAS vigente, y en especial con lo establecido en la Resolución 1096 del 17 de diciembre de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico en su Artículo 199 *“Operación: Los procedimientos y medidas pertinentes a la operación continua y permanente de los diferentes componentes de un sistema de agua potable y saneamiento básico deben seguir los requerimientos establecidos en los planos de construcción y los manuales de operación que deben tener disponibles en todo momento los operadores de las entidades prestadoras de los servicios municipales de acueducto, alcantarillado y aseo para cada uno de sus componentes, con el fin de brindar a los clientes el respectivo servicio con los patrones de calidad y continuidad exigidos por el presente reglamento técnico. Parágrafo 1: Presiones en la red: Una vez que*

*la red de distribución, o su ampliación, entre en operación, y durante todo el período de vida útil del proyecto, deben verificarse las presiones en diferentes puntos de la red, teniendo en cuenta los manuales de operación y mantenimiento”.*

Los planes de medición de presiones establecidos por el diseñador deben incluir los puntos de medición, los aparatos de medición y la precisión de estos. Es recomendable que, desde la etapa de diseño, se incluya la instalación de medidas telemétricas de 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 de EPM. Los registros deben ser guardados en las bases de datos de EPM con el fin de ser comparados con aquellos obtenidos a lo largo de la vida útil del proyecto durante su operación normal.

### 5.12.2 Hidrantes

El diseño debe establecer los puntos muertos de la red y la localización de hidrantes para la realización de los procediendo a la apertura de hidrantes y válvulas con el fin de preservar la calidad de agua en la red.

Durante toda la vida del proyecto se debe comprobar que los hidrantes funcionen adecuadamente, de tal forma que cumplan con el caudal y presión de diseño necesaria para la atención de los incendios. La frecuencia de revisión debe ser establecida en los planes de mantenimiento, de acuerdo al contexto operacional.

### 5.12.3 Válvulas

en operación y durante todo el período de vida útil del proyecto, debe hacerse un plan de mantenimiento para garantizar su funcionalidad, teniendo en cuenta su contexto operacional. Las válvulas deben estar plenamente identificadas de acuerdo con su función: división de sector hidráulico, aislamiento, purga o drenaje, ventosas, entre otras funciones.

### 5.12.4 Circuitos y subcircuitos 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 distribución de caudales y presiones en otras zonas de la red de distribución de EPM. Por consiguiente, el diseño debe establecer si es necesario hacer cambios en los circuitos o subcircuitos de la red de distribución, con el fin de lograr una mejor uniformidad de presiones y una sectorización con criterios hidráulicos. Para esto, el diseño debe establecer, cuando sea necesario, una nueva distribución de válvulas y la apertura y/o cierre de válvulas existentes.

En estos casos, el diseño de la nueva sectorización de la red de distribución debe estar basado en el uso del modelo hidráulico de la red de distribución de agua potable. Mediante éste, se debe establecer la distribución de válvulas y su estado de apertura o cierre, con el fin de optimizar la uniformidad de la presión en cada uno de los circuitos y subcircuitos.

Una vez que la red de distribución de agua potable entre en operación y durante todo el período de vida útil del proyecto, debe existir un programa permanente para verificar que se conserve el estado de cierre de las válvulas que determinan los sectores hidráulicos con el fin de garantizar el plano de presiones definido en el diseño y tener un control sobre el índice de agua no contabilizada.

Cuando por condiciones especiales de la prestación del servicio se requiera conectar temporalmente varios sectores hidráulicos, se debe seguir el protocolo dado por el diseño, verificando que las presiones se mantengan dentro de los rangos permitidos por la norma.

### 5.12.5 Calibración de la red de distribución

Muchos aspectos de la operación de redes de distribución requieren el uso de un modelo

hidráulico previamente calibrado. Esto es cierto tanto para redes nuevas como para las redes existentes. Por consiguiente, el diseñador de una red nueva o de una ampliación a una red existente debe establecer la forma de calibrar la red, una vez que ésta entre en operación. La calibración debe hacerse siempre que en la red existente o nueva, exista al menos una tubería con un diámetro nominal superior o igual a 250 mm.

#### 5.12.5.1 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 diseñador 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 nudos, 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 nudos 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 alcantarillado son:

1. Diámetro real interno de la 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 ( $\Sigma k_m$ ).

#### 5.12.5.2 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 nominales establecidos en el catastro de redes. El diseñador 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.

#### 5.12.5.3 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 variar 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. El programa utilizado deberá tener la posibilidad de creación de grupos de tuberías con características similares y deberá hacer 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 nudos 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 diseñador 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.

#### 5.12.5.4 Uso de tecnologías de información en el proceso de calibración

Además de lo establecido en el Numeral 4.5.14 de estas normas, referente a las características numéricas del modelo hidráulico, sus ecuaciones, sus capacidades de simulación en período extendido y de calidad de agua y sus capacidades de comunicación del programa con otros sistemas de EPM, el programa debe tener unidades de calibración mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial, tales como algoritmos genéticos, lógica difusa o sistemas expertos, o mediante otro tipo de metodología de optimización hidráulica tal como el método de Monte Carlo.

### 5.12.6 Control de presiones en la red de distribución

El diseño de la red de distribución o la ampliación a una red de distribución existente, debe contemplar que bajo las diferentes condiciones de operación posibles para ese circuito de la red, las presiones siempre se encuentren dentro de los rangos establecidos en los numerales anteriores de esta norma. Para esto, cada una de las condiciones extremas de operación debe simularse en el programa de cálculo hidráulico de la red de distribución de agua potable.

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 que las presiones se mantengan dentro del rango permitido por la norma.

Se deben incluir aquellos puntos que se encuentren en los sitios más distantes de la red (cola de circuito), así como aquellos que sean representativos de las condiciones críticas de operación.

El número de puntos de medición y la frecuencia debe determinarse atendiendo lo dispuesto en la Resolución 315 del 11 de febrero de 2005 de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, o la norma que la modifique o la remplace.

Los datos de presión deben ser guardados en las bases de datos de EPM.

### 5.12.7 Reglas de operación para evitar desprendimientos de biopelículas y/o resuspensión de depósitos inorgánicos

Una vez establecido el diseño definitivo de la red de distribución y/o la ampliación a una red de distribución existente, el diseñador debe establecer reglas de operación que eviten el desprendimiento de biopelículas 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 del flujo en tramos de la red, o combinaciones de estos dos. Para

esto, se debe hacer uso del modelo matemático de la red de distribución de agua potable según se establece en el Numeral 5.5.2

En todo caso, se debe tener en cuenta todo lo establecido en el Numeral 4.9.5 de esta norma.

### 5.12.8 Lavado de tuberías de la red de distribución

Con respecto al lavado de tuberías de las redes de distribución se debe tener en cuenta todo lo establecido en el Numeral 4.9.6 de esta norma.

### 5.12.9 Calidad de agua en la red de distribución

Una vez que la red de distribución diseñada se encuentre en operación y durante todo el período de vida útil del proyecto, debe verificarse la calidad de agua en la red de distribución, haciendo un muestreo diario en puntos preestablecidos de la red. Estos puntos deben definirse como parte del diseño, en el cual también deben establecerse el tipo de parámetros físico-químicos y/o bioquímicos que deben ser medidos, los aparatos a ser utilizados, la precisión de éstos y la frecuencia de toma de datos.

Las muestras de agua deben ser analizadas en un laboratorio de calidad de agua acreditado. Es recomendable que, desde la etapa de diseño, se incluya la instalación de medidas telemétricas de calidad de agua en la red, con el fin de conocer en tiempo real la calidad en todo el sistema de distribución de agua potable de EPM.

En todos los casos debe tenerse en cuenta lo establecido en el Artículo 76 de la Ley 9 de 1979 o la que la remplace, el cual establece: "Las entidades administradoras de los acueductos comprobarán periódicamente las buenas condiciones sanitarias de las redes de distribución, con muestras de análisis de agua, tomadas en los tanques, hidrantes, conexiones de servicio y en las tuberías". El diseño de la red de distribución debe establecer estos puntos.

Se debe atender lo establecido en el Artículo 77 de la Ley 9 de 1979, o la que la modifique o reemplace, el cual establece: “Los hidrantes y extremos muertos de la red de distribución de agua deben abrirse con la frecuencia necesaria para eliminar sedimentos.

El control de calidad de agua también debe utilizarse para detectar fenómenos de conexiones erradas (cross connections) y debe existir un programa permanente dirigido a realizar las correcciones necesarias para eliminar dichas conexiones. Los registros deben ser guardados en las bases de datos de EPM.

#### **5.12.10 Uso de programas de simulación de redes para la operación**

El modelo montado por el diseñador de la red de distribución en el programa de simulación matemática definida en el Numeral 5.5.2 de este capítulo, debe ser entregado EPM con el fin de que éste sea utilizado como herramienta operativa durante el período de vida útil del proyecto. Es responsabilidad del diseñador asegurar que el modelo de la nueva red de distribución o la ampliación de una red existente quede funcionando correctamente en los programas de simulación hidráulica operados por el SIGMA de EPM. El uso como herramienta operativa debe incluir 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.

#### **5.12.11 Uso de tecnologías de información para la operación de las redes**

Con respecto al uso de tecnologías de información para la operación de redes de distribución se debe seguir lo establecido en el Numeral 4.9.8 de esta norma.

### **5.13 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN**

En general se debe seguir, para el mantenimiento de la red de distribución, todo lo establecido en el Sistema de Gestión de Calidad de EPM, para lo cual el diseño debe considerar las rutinas de mantenimiento desde la época de concepción del proyecto.

En el caso de requerirse equipos, materiales y repuestos diferentes a los que EPM cuenta para el mantenimiento, éstos deberán ser determinados; igualmente, deberá entregar los procedimientos para el mantenimiento preventivo y correctivo.

El diseñador deberá hacer énfasis en puntos críticos del proyecto que deban ser tenidos en cuenta de forma especial en los planes de mantenimiento.

Para la atención de los daños, en especial, en casos de emergencia, el diseño deberá establecer aquellos materiales que deben estar disponibles en Empresas Públicas de Medellín, para su oportuno mantenimiento.

#### **5.13.1 Suspensión del servicio**

En el caso de que las labores de mantenimiento impliquen la suspensión del servicio de abastecimiento de agua potable, EPM debe cumplir lo establecido en el Instructivo para la Gestión de Suspensiones del Servicio de Acueducto Originadas por Intervenciones en la Infraestructura de Distribución Primaria y Secundaria, en su versión vigente. Para esto debe establecer, haciendo uso de modelos hidráulicos de la red

de distribución, aquellos clientes que van a ser afectados por la suspensión del servicio o por bajas temporales en la presión del suministro de agua potable.

### 5.13.2 Reparación de Tuberías y Accesorios

En el caso de que haya que cambiar o reparar alguna de las tuberías o accesorios que forman parte de la red de distribución, debe tenerse en cuenta que el cambio debe realizarse en máximo 12 horas.

### 5.13.3 Disponibilidad de repuestos

En el caso de que se requieran repuestos para labores de mantenimiento de las estructuras y/o accesorios que conforman las redes de distribución, debe tenerse en cuenta que la consecución y localización in situ de los repuestos debe ser inmediata para aquellos casos que impliquen 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 hacerse como máximo en un día.

### 5.13.4 Registro de mantenimientos

Siempre que hagan labores de mantenimiento en las redes de distribución secundaria, deben cumplirse los siguientes requisitos:

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. En el caso de mantenimientos preventivos, tanto de las tuberías y sus elementos, 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. EPM debe llevar una base de datos con los registros históricos de los daños ocurridos como de los mantenimientos preventivos que se hagan.

### 5.13.5 Lavado de las redes de distribución

Las operaciones de lavado de las tuberías que conforman la red de distribución deben quedar establecidas en el diseño y ser probadas mediante el uso de los modelos hidráulicos definidos en el Numeral 5.5.2 de esta norma. Los parámetros básicos relacionados con la frecuencia de limpieza del sistema de distribución de EPM, son los siguientes:

1. Dos veces al año para zonas de la tubería de hierro fundido o acero donde estén desalineadas, cuando hay tubérculos en grandes cantidades, o cuando hay quejas frecuentes de olor, color y sabor por parte de los clientes.
2. Dos veces por año en sistemas de válvulas de división, hidrantes y tuberías con baja velocidad.
3. Es necesario realizar un lavado periódico, definido desde el diseño, en áreas donde los problemas de calidad de agua son crónicos, particularmente en las tuberías donde las velocidades de flujo son bajas, de acuerdo con el modelo hidráulico de la red de distribución.
4. La limpieza se debe realizar mediante el uso de materiales absorbentes y abrasivos.
5. La limpieza se debe realizar adicionalmente con desinfectantes.
6. La frecuencia de lavado debe ser aquella necesaria para mantener residuos de los desinfectantes, específicamente del cloro residual, en las zonas muertas de la red de distribución.

El lavado debe realizarse durante las horas de la noche y en las madrugadas, preferiblemente entre las 11 p.m. y las 5 a.m., con el fin de minimizar los efectos en los clientes y aprovechar las altas presiones debido a la poca demanda de agua en estas horas, las cuales permiten obtener altas velocidades en las tuberías durante las operaciones de lavado con el fin de hacer más eficientes los procesos de

desprendimiento de películas biológicas y 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.

En el caso de que existan incrustaciones en tuberías metálicas, se deben incluir en las operaciones de lavado el dragado mecánico para remoción de incrustaciones.

### **5.13.6 Reglas de operación durante mantenimientos para evitar desprendimientos de biopelículas**

Haciendo uso del modelo hidráulico calibrado de la red de distribución nueva o la ampliación de la red existente, según lo establecido en el Numeral 5.5.2, el diseño debe establecer reglas de operación durante mantenimientos con el fin de evitar deterioros en la calidad de agua causados por desprendimientos de biopelículas y/o depósitos inorgánicos que puedan encontrarse al interior de las tuberías. En particular, el diseño debe seguir las siguientes recomendaciones para los mantenimientos hasta donde sea posible:

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.
3. Tratar de evitar la inversión en la dirección de flujo en las tuberías, debido a que el riesgo de desprendimientos 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 una operación de lavado interno de la red.

### **5.13.7 Uso de los programas de simulación hidráulica de la red de distribución**

Todas las operaciones de mantenimiento de la red de distribución deben estar basadas en el modelo matemático utilizado durante la etapa de diseño. Por consiguiente, el diseñador debe hacer entrega del montaje de la red nueva o la ampliación de la red existente con el fin de que éste sea utilizado por EPM como herramienta para planificación de operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo. Es obligación del diseñador verificar el correcto montaje del modelo dentro de los programas de simulación hidráulica establecido por el SIGMA de EPM.

### **5.13.8 Uso de tecnologías de información para labores de mantenimiento**

Con respecto al uso de tecnologías de información para el mantenimiento de redes de distribución se debe seguir lo establecido en el Numeral 4.10.10 de esta norma.

### **5.13.9 Aspectos ambientales en la etapa de Operación y Mantenimiento**

En las actividades de operación y mantenimiento de redes de distribución se deben tener en cuenta los siguientes impactos:

- a. Intervención de equipo y maquinaria, con generación de ruido, polvo y gases.
- b. Afectación del tráfico en la zona de la reparación.
- c. Desperdicio de agua y posible deterioro de su calidad.
- d. Desabastecimiento de agua en la zona afectada por la suspensión del servicio, mientras se realiza la reparación en el sistema.
- e. Afectación de propiedades de terceros.
- f. Inundaciones en vías y viviendas.
- g. Demolición de pavimentos, andenes y daños en zonas verdes.
- h. Posible falla en otros servicios como consecuencia del daño en la red de acueducto

## Capítulo 6 ESTACIONES DE BOMBEO

Una estación de bombeo se proyecta cuando las alternativas de ampliación existentes y el aprovechamiento de la gravedad no sean factibles. Mediante el bombeo se eleva el nivel de la línea piezométrica para vencer la diferencia de altura topográfica, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores en las tuberías.

### 6.1 ALCANCE

En este Capítulo se establecen los criterios básicos, los aspectos específicos y los requisitos mínimos que deben cumplir el diseño de las estaciones de bombeo del sistema de acueducto de EPM, con el fin de garantizar la seguridad, la confiabilidad, la durabilidad, la funcionalidad, la calidad del agua, la eficiencia, la sostenibilidad y la redundancia del sistema. También se incluyen los aspectos que desde el diseño tengan influencia sobre los procesos de construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de las estaciones de bombeo.

La Tabla 6-1 muestra un esquema del contenido de este Capítulo:

**Tabla 6-1** Esquema del contenido del Capítulo 6 "Estaciones de Bombeo"

<i>Componente</i>	<i>Capítulo</i>
Estudios Previos	6,2
Condiciones Generales	6,3
Parámetros de Diseño	6,4
Diseño de las Estaciones de Bombeo	6,5
Aspectos de la Puesta en Marcha de la Estación de Bombeo	6,6
Aspectos de la Operación de la Estación de Bombeo	6,7
Aspectos del Mantenimiento de la Estación de Bombeo	6,8
Estaciones de Bombeo en Urbanizaciones.	6,9

## 6.2 ESTUDIOS PREVIOS

### 6.2.1 Concepción del proyecto

Durante la concepción del proyecto de diseño de las estaciones de bombeo deben definirse los criterios técnicos y económicos que permitan comparar todas las alternativas posibles para la estación de bombeo, teniendo en cuenta tanto las consideraciones hidráulicas como las de costo de energía a lo largo del período de diseño del proyecto.

Las estaciones de bombeo deben diseñarse con todas las estructuras y facilidades necesarias para garantizar su correcto funcionamiento. Estas estructuras deben incluir entre otros, pozos de succión, bombas, válvulas de corte o cierre, válvulas de cheque, etc.

Para la concepción del diseño del proyecto de la estación de bombeo se debe tener conocimiento de los siguientes aspectos:

1. Las estaciones de bombeo existentes con el fin de determinar si es factible el aprovechamiento de instalaciones antiguas y su posibilidad de ampliación.
2. Los datos geológicos de la zona del municipio objeto de diseño.
3. El funcionamiento y las reglas de operación de otros componentes del sistema de acueducto, especialmente de los tanques de almacenamiento y/o compensación, y las redes de distribución aguas abajo de ellos, incluyendo principalmente las instalaciones de macromedición de caudales y de estaciones reguladoras de presión, con el fin de lograr la compatibilidad de la estación de bombeo con el resto del sistema, especialmente en lo referente a su capacidad y operación.
4. La altura estática total requerida para abastecer los caudales aguas abajo de la estación de bombeo.
5. La capacidad requerida de la estación de bombeo.

6. La energía disponible en el sitio de la estación de bombeo.

Para el diseño se debe tener en cuenta que los bombeos se deben realizar entre dos tanques, uno localizado aguas arriba, el cual debe ser un tanque de succión, aunque no necesariamente de almacenamiento, y el otro aguas abajo de la estación de bombeo. Sin embargo, el diseño puede considerar la posibilidad de que aguas abajo de la estación de bombeo únicamente se cuente con un tanque de compensación, dejando el volumen de agua almacenada en un tanque de almacenamiento localizado aguas arriba de la estación de bombeo. En este caso, el tanque de compensación se debe operar a filo de agua en lo que respecta a la alimentación de la red aguas abajo de éste.

### 6.2.2 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.

### 6.2.3 Estudio de la demanda de agua

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 de que no se disponga de esta información, se debe realizar el estudio teniendo en cuenta lo establecido en el Capítulo 3 “Población, Dotación y Demanda” de esta norma, para determinar la capacidad actual y futura de la estación de acuerdo con la red de distribución aguas abajo.

### 6.2.4 Aspectos generales de la zona

El diseñador debe conocer todos los aspectos generales de la zona del municipio en la que se desarrollará la estación de bombeo.

Como mínimo el diseñador 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. Tener en cuenta 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 altiplanimétrico de la zona del municipio objeto del diseño. Los levantamientos deben estar amarrados a la red geodésica nacional el cual debe ser aprobado por la entidad competente.

### 6.2.5 Estudios topográficos

Para propósitos de diseño, el diseñador debe recopilar entre otra, la siguiente información topográfica:

1. Planos aerofotogramétricos de la zona del municipio donde va a diseñarse la estación de bombeo.
2. Planos de catastro de todas las obras de infraestructura existente de la zona del municipio donde se va a proyectar la estación de bombeo.
3. Fotografías aéreas existentes para la zona del municipio objeto del diseño, que incluyan claramente la zona donde va a diseñarse la estación de bombeo.
4. Los planos de catastro o inventario de las redes que tengan relación con la estación de bombeo objeto del diseño.

5. El levantamiento topográfico altiplanimétrico de la zona del municipio objeto del diseño, o de sus áreas de expansión.
6. La información disponible en los sistemas de información existentes

Para el diseño de las estaciones de bombeo debe seguirse lo establecido en el manual de topografía de EPM, “Alcances del trabajo y especificaciones para los levantamientos o localizaciones de trabajo de topografía en la investigación para diseño de redes de acueducto y/o alcantarillado, conducciones, impulsiones y obras civiles (plantas de tratamiento, tanques, estaciones de bombeo, edificaciones, etc.)”, con el fin de hacer los levantamientos necesarios para el diseño de las estaciones de bombeo. Se debe utilizar la versión del manual de junio de 2002, o aquella que la remplace.

En todos los casos se recomienda hacer levantamientos reales en campo, con propósitos de verificación.

### 6.2.6 Condiciones geológicas

El diseñador 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 diseñador 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 la norma sismorresistente NSR-10, o aquella que la reemplace, con respecto a los niveles de

amenaza sísmica de las diferentes zonas del territorio de los municipios atendidos por EPM.

### 6.2.7 Disponibilidad de energía

El diseño debe estudiar las condiciones de suministro de energía eléctrica, establecidas por el operador local, 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 confiabilidad del servicio, el sitio más cercano para tomar la energía, el voltaje, el ciclaje y el costo del kilovatio hora según la medida de tensión.

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 caso en que se considere necesario, el diseño debe incluir una planta generadora alternativa con disposición permanente para el caso de emergencias.

### 6.2.8 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 entren en contacto con el agua.

Antes de proceder al desarrollo del diseño de una estación de bombeo, el diseñador debe conocer las características de calidad del agua y su evolución a partir de las plantas de tratamiento y hasta su llegada a los tanques de succión, almacenamiento y/o compensación, localizados aguas arriba de las bombas. Debe hacer uso de la información sobre calidad de agua existente en EPM, y en caso de que se considere necesario o no exista esta información, el diseñador debe hacer uso de un programa de modelación de calidad de agua en la red, como se indica en el Numeral 4.5.4, partiendo de la calidad de agua entregada a la salida de las plantas.

### 6.2.9 Estudio de suelos

En todos los casos se debe considerar el concepto de un especialista en Geotecnia con la experiencia establecida en el RAS, que indique aquellos estudios que se requieren para el proyecto de acueducto y/o alcantarillado, acorde con lo establecido en los por el RAS, en su versión vigente.

Adicionalmente, el diseño debe recopilar la información sobre sondeos que existan en las Empresas Públicas de Medellín y que hayan sido hechos para el desarrollo o construcción de otras obras en la zona del municipio objeto del diseño de la estación de bombeo.

### 6.2.10 Aspectos ambientales en la etapa de Planeación y Diseño

Los impactos ambientales potenciales asociados a este tipo de obra son de tipo urbano y se debe tener en cuenta la Ley 769 del 2002, Resolución 1050 del 2004 del Ministerio del Transporte o aquella que lo modifique “Señalización de seguridad y protección en las zonas de trabajo”, la norma NEGC 1300 “Impacto comunitario” y el Manual Corporativo de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional de Empresas Públicas de Medellín”.

## 6.3 CONDICIONES GENERALES

La estación de bombeo, desde su etapa de diseño, debe cumplir con ciertas características y condiciones básicas, las cuales se muestran a continuación:

### 6.3.1 Recomendaciones de seguridad y protección

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.

En especial, 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 de 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, ubicados en los lugares adecuados, los cuales deben estar perfectamente señalizados.
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.

6. El cableado eléctrico debe instalarse en ductos o cárcamos.

### 6.3.2 Vulnerabilidad y amenaza sísmica

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 la Norma Sismorresistente Colombiana NSR-10 o aquella que la remplace, para estructuras de importancia alta con respecto a los niveles de amenaza sísmica en las diferentes zonas de los municipios atendidos por las Empresas Públicas de Medellín.

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 de 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, aplicables a los municipios atendidos por las Empresas Públicas de Medellín.

### 6.3.3 Facilidad de acceso y retiros

En la estación de bombeo, el diseño debe dejar los accesos necesarios para efectuar las labores de montaje y mantenimiento, en particular el diseño debe tener en cuenta todos aquellos aspectos necesarios para la movilización de los equipos electromecánicos tales como vías de acceso puertas de acceso, rampas, puentegrúas, etc. Por otro lado, el diseño de la estación de bombeo debe garantizar que las labores de mantenimiento no afecten la prestación del servicio del sistema de acueducto.

Con respecto a los retiros, el ancho debe ser el mínimo que permita en forma cómoda realizar las tareas de inspección y mantenimiento de las estaciones de bombeo y sus tanques asociados. El ancho de los retiros debe fijarse con base en la geometría de la estación de bombeo y los tanques, el espacio ocupado por los componentes de la estación de bombeo, la facilidad de acceso y el espacio para maniobras de los equipos. En todo caso se recomienda que el ancho de los retiros no sea inferior a 10 m.

## 6.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

### 6.4.1 Período de diseño

El período de diseño para las estaciones de bombeo de EPM debe ser de 30 años,

### 6.4.2 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 hacia un tanque.

Para el caso de bombeos hacia un tanque se debe cumplir lo siguiente:

1. Si es a un tanque de almacenamiento, el caudal de diseño es el Caudal Máximo Diario QMD definido en el Numeral 3.7. de esta norma. En caso de 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 es a un tanque de compensación, el caudal de diseño es el Caudal Máximo Horario QMH, definido en el Numeral 3.7.3 de esta norma.

Para casos excepcionales de bombeos que incluyan abastecimiento directo a una red de distribución de agua potable, el caudal de diseño debe ser el Caudal Máximo Instantáneo

el cual es mayor que el Caudal Máximo Horario (QMH) ya que debe atender no solamente la demanda, sino los caudales para el control de incendios y las fugas no detectables en el sistema de acueducto.

### 6.4.3 Tiempo de bombeo

El tiempo máximo de bombeo para el caudal de diseño es de 18 h/día.

### 6.4.4 Calidad de agua

Para efectos de los cálculos de la evolución de la calidad del agua, el diseño debe tener en cuenta los coeficientes de decaimiento establecidos en el Numeral 4.4.4 de esta norma.

### 6.4.5 Materiales

#### 6.4.5.1 Materiales de las bombas

Los materiales de las bombas incluyendo sus impulsores, sus carcasas y otros componentes, deben ser seleccionados de acuerdo con las características del agua que va a bombearse y teniendo en cuenta la temperatura, conductividad y capacidad de corrosión del agua.

El material de las bombas y de los diferentes componentes deben resistir los efectos de corrosión que el agua pueda causar en ellos. En general, los materiales aceptados por EPM incluyen los siguientes: hierro fundido, acero inoxidable, acero al carbón, acero fundido y hierro dúctil. Para los accesorios de la bomba se permite usar latón y bronce. Todos los materiales utilizados deben estar certificados por normas técnicas nacionales o internacionales aprobadas por EPM.

#### 6.4.5.2 Materiales de las tuberías

Los materiales aceptados por EPM para las tuberías de succión y de impulsión en sus estaciones de bombeo incluyen los siguientes: hierro dúctil (HD), polivinilo de cloruro (PVC) RDE 13.5, poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP), concreto reforzado con cilindro de acero (CCP) y Polietileno de Alta densidad

(PEHD). En la Tabla 4-12 del Numeral 4.4.6 se incluyen las características de los materiales de las tuberías y en la Tabla 4-13, las normas técnicas respectivas.

Con respecto a los materiales de las tuberías se debe cumplir con lo establecido en el Capítulo 7 de las NEGC.

### 6.4.6 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 y la energía disponible. El número de bombas debe estar sujeto al análisis de generación de alternativas descrito en el Numeral 6.4.15. De todas formas el número mínimo recomendado es de tres bombas, dos operando, y una bomba adicional de reserva. Si de acuerdo con la capacidad requerida se necesite una sola bomba, se deberá mantener una bomba para operación regular y la otra en reserva, y cada una con capacidad igual a la de diseño. En el caso de que se requieran 3 o más bombas, el diseño siempre debe incluir una unidad de bombeo adicional como reserva, por cada tres bombas empleadas. En lo posible las unidades de bombeo deberán ser iguales hidráulica y mecánicamente, preferiblemente de la misma marca y referencia.

### 6.4.7 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 al considerar las curvas características del sistema de bombeo y del sistema de tuberías de impulsión.

El dimensionamiento y la selección del tipo de bombas debe hacerse 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 Numeral 6.4.15 de esta norma.

Adicionalmente deben tenerse en cuenta las normas técnicas nacionales e internacionales como: ANSI/HI, EN, DIN, JIS, 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 las Empresas Públicas de Medellín.
7. El nivel del ruido generado por la operación de las bombas.
8. Se recomienda el uso de bombas con velocidad específica media alta, con pendientes hidráulicas altas

## 6.4.8 Pozo de succión

### 6.4.8.1 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 con 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. Deben evitarse la formación de vórtices en superficie o sumergidos.
4. El pozo no debe tener cambios geométricos pronunciados, cambios bruscos de dirección del flujo, pendientes pronunciadas y formas rápidamente divergentes.
5. El diseño 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.
6. La entrada de agua al pozo debe estar por debajo del nivel de agua en la tubería de succión.
7. La distribución de velocidades de flujo de entrada a cada bomba debe ser lo más uniforme posible.

### 6.4.8.2 Sumergencia de las bombas

La sumergencia mínima de la tubería de succión debe ser mayor que dos veces su diámetro pero nunca menor que 0.5 m, sin embargo, debe calcularse de acuerdo con lo establecido en las normas mencionadas en el numeral 6.4.7.

### 6.4.8.3 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. de todas maneras ésta debe calcularse de acuerdo con lo establecido en las normas mencionadas en el numeral 6.4.7.

### 6.4.8.4 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.

### 6.4.8.5 Dispositivos complementarios

El pozo de succión debe contar con las tuberías y válvulas necesarias para su drenaje. El diseño debe contemplar siempre un vertedero de exceso de agua en el pozo de succión.

### 6.4.9 Diámetros de tuberías de impulsión y succión

El diámetro de las tuberías de impulsión y succión 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 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 de que el diámetro de la tubería de succión sea mayor que el de admisión de la bomba, debe ponerse una reducción excéntrica con su parte superior horizontal.

### 6.4.10 Velocidades en tuberías de impulsión y succión

#### 6.4.10.1 Tuberías de succión

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), en ningún caso ésta debe superar 1 m/s.

La velocidad mínima en las tuberías de succión debe ser de 0.5 m/s.

#### 6.4.10.2 Tuberías de impulsión

La velocidad máxima en las tuberías de impulsión debe ser de 3 m/s. Sin embargo, la velocidad operativa debe estar justificada por un análisis de alternativas, tal como lo establece en el Numeral 6.4.15 de esta norma.

La velocidad mínima en las tuberías de impulsión debe ser de 1.0 m/s.

### 6.4.11 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 numerales 4.6.3 “Colocación y nivelación de las tuberías de conducciones” y 4.6.5 “Instalación de las

tuberías”, de esta norma. Adicionalmente, en todos los casos, las tuberías de impulsión y succión de las estaciones de bombeo deben cumplir con lo establecido en el Capítulo 7 de las NEGC.

### 6.4.12 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 Numeral 4.6.6 “Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos”, de esta norma.

### 6.4.13 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.
3. Si la estación es conformada por bombas de superficie debe estar debidamente insonorizada con sus respectivos sistemas de extracción de calor.

### 6.4.14 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 aquellas que lo modifiquen, lo adicionen o sustituyan, por el 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, en ningún caso deberá sobrepasar 40 dB.

#### 6.4.15 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 impulsión, las cuales cumplen con las condiciones hidráulicas de caudal de bombeo y altura estática entre los tanques de almacenamiento aguas arriba y aguas abajo. Por consiguiente, el diseño de la estación de bombeo debe buscar la alternativa óptima económica de combinación de los diferentes diámetros y materiales de tubería de impulsión, potencia de las bombas y consumo de energía de éstas a lo largo del período de diseño y que cumpla con todas las restricciones hidráulicas.

El diseño debe hacerse para todos los materiales, que cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto, establecidos en el Numeral 6.4.5.2 para tuberías y en el Numeral 6.4.5.1 para bombas y el cálculo del diámetro de cada alternativa debe seguir lo establecido en el Numeral 6.5.3 de la presente norma.

Las alternativas deben basarse en criterios hidráulicos y 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. 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.

## 6.5 DISEÑO DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO

### 6.5.1 Bombas

Para el diseño de las bombas, se debe tener en cuenta la forma de calcular su potencia, su cabeza neta de succión positiva y su ecuación, tal como se explica en los siguientes numerales. El costo de las bombas debe tenerse en cuenta para los estudios económicos y financieros de la estación de bombeo tal como se establece en el Anexo 2.1 de esta norma.

#### 6.5.1.1 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 6.1.

$P = \frac{Q\gamma H}{\eta}$	<b>Ecuación 6.1</b>
------------------------------	---------------------

donde

- $P$  = Potencia requerida por la bomba (W)
- $Q$  = Caudal de operación (m<sup>3</sup>/s)
- $\gamma$  = Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>)
- $H$  = 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.

#### 6.5.1.2 Cabeza neta de succión positiva (NPSH)

La altura neta de succión positiva disponible se debe calcular de acuerdo con la siguiente ecuación:

$NPSH_{disp} = \frac{P_{atm}}{\rho \cdot g} + H_{es} - h_f - h_m - \frac{v^2}{2g} - \frac{P_v}{\rho \cdot g}$	<b>Ecuación 6.2</b>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

donde

- $P_{atm}$  = Presión atmosférica (Pa)
- $H_{es}$  =<sup>11</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 (kg/m<sup>3</sup>)
- $g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- $h_m$  = Pérdidas menores sin incluir pérdidas por salida (m)
- $v$  = Velocidad media del flujo (m/s)

La altura neta de succión positiva requerida por el fabricante debe ser menor que el valor 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.

### 6.5.1.3 Ecuaciones de las bombas

La ecuación de la bomba debe ser suministrada por el fabricante de estos equipos. En caso de que esta ecuación no exista, el fabricante debe suministrar la curva de operación de la bomba y el diseñador debe hacer un análisis de regresión numérica con el fin de obtener la ecuación. Esta debe tener la forma establecida en la Ecuación 6.3 mostrada a continuación:

$H = AQ^2 + BQ + C$	<b>Ecuación 6.3</b>
---------------------	---------------------

donde:

- $H$  = Altura dinámica total de bombeo (m)
- $Q$  = Caudal de bombeo (m<sup>3</sup>/s)
- $A, B, C$  = Coeficientes de la ecuación.

<sup>11</sup> Calculada como la diferencia de altura entre el plano de referencia de la NPSH, de acuerdo con las normas ISO2548 o DIN 1994 4, o cualquier otra norma internacional equivalente, y el nivel del agua mínimo en el pozo de succión.

La altura dinámica total de bombeo se halla incluyendo la altura topográfica, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores en la tubería de impulsión.

### 6.5.2 Ecuación del sistema

En el caso de 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. Para el uso de estas ecuaciones se debe utilizar la metodología establecida en el Numeral 4.5.3 de esta norma al igual que los coeficientes de rugosidad absoluta definidos en el mismo numeral.

Alternativamente se puede utilizar la ecuación de Hazen-Williams de acuerdo con lo establecido en el Numeral 4.5.3.3 de esta norma.

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.

$H = H_T + \sum h_f + \sum H_m$	<b>Ecuación 6.4</b>
---------------------------------	---------------------

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 Numeral 4.5.3.2. En el caso de que aguas abajo de la bomba exista una red de distribución de agua potable, el diseñador debe utilizar un programa de análisis hidráulico de sistemas de acueducto basado en el método del gradiente descrito en el Numeral 5.5.2 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 horas de la noche.

### 6.5.3 Diámetros de las tuberías de impulsión y succión

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:

$De = K(XQ)^{1/2}$ $X = (t / 24)^{1/2}$	<b>Ecuación 6.5</b>
-----------------------------------------	---------------------

donde

- $t$  = Es el número de horas de bombeo por día (h/día)
- $Q$  = Es el caudal de bombeo (m<sup>3</sup>/s)
- $De$  = Es el diámetro interior (m)
- $K$  = Es un coeficiente que varía entre 1.2 y 1.6.

Este último coeficiente es función del costo de la tubería y el costo del kilovatio hora de energía eléctrica. EPM debe establecer para cada caso cuál es el valor de este coeficiente que debe ser utilizado para un prediseño particular. El diámetro definitivo de las tuberías de impulsión en una estación de bombeo debe obedecer al análisis económico de las alternativas generadas, 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 aguas abajo de la bomba.

### 6.5.4 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 Numeral 6.5.5. En el caso de tuberías con diámetros inferiores a 300 mm se debe utilizar pinturas epóxicas al interior de la tubería. En caso de que económicamente sea posible utilizar la alternativa de aceros inoxidable, 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.

### 6.5.5 Recubrimientos y protección de tuberías

Con respecto al recubrimiento y protección de tuberías de impulsión y succión se debe seguir lo establecido en el Numeral 4.5.6 “Recubrimiento y protección de tuberías”, de esta norma.

### 6.5.6 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 se debe hacer de acuerdo con lo establecido en el Numeral 4.5.9 de estas normas. En todos los casos deben calcularse la sobre-elevación de presiones, las subpresiones y la velocidad de la onda de compresión. El análisis debe hacerse para el caudal máximo bajo las diferentes formas de operación de la estación de bombeo. Los métodos de cálculo pueden incluir el método de las características o métodos de elementos

finitos, en los cuales se considere el agua como un medio elástico.

En todo caso, 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.

### 6.5.7 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.

## 6.5.8 Válvulas y accesorios en las estaciones de bombeo

### 6.5.8.1 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 el operador 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.

### 6.5.8.2 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 de 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 de 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, previa aprobación de EPM.

### 6.5.9 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.

#### 6.5.9.1 Acometida de alta tensión

La acometida de alta tensión, desde la red de distribución, debe hacerse al mismo voltaje del sistema primario de distribución.

#### 6.5.9.2 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 hacerse con fusibles en caja primaria, en el último poste o en el seccionador.
5. Debe protegerse el circuito primario de la estación contra sobrevoltaje, 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.

#### 6.5.9.3 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 posibles ampliaciones 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.
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 2/0.
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, el diseño debe considerar la utilización de condulines en concreto o un canal en 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 de 20 m.
8. Las tuberías o canales protectores deben enterrarse a una profundidad mínima de 0.6 m por debajo del nivel del piso.
9. Los empalmes de tubería Conduit metálica a PVC deben hacerse a través de una caja de empalme por unión o condulete, utilizando atadores roscados en la tubería de PVC.

Todas las instalaciones eléctricas relacionadas con la acometida de baja tensión, debe cumplir con lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 105.

#### 6.5.9.4 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 277). 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 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 hacerse 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 hará 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.

#### **6.5.9.5 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 1kW.

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.

### **6.5.10 Dispositivos de medición y control**

#### **6.5.10.1 Instrumentación de la estación de bombeo**

El diseño de la estación de bombeo debe incluir 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 accionado por flotador o interruptor electrónico 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. Alarma de bajo nivel del agua en el pozo de succión.
6. Totalizador de caudales a la salida de la estación de bombeo.
7. En el caso de que las bombas tengan una altura positiva de succión, se debe colocar un presostato que regule, de forma general, todo el equipo de bombeo.
8. Manómetro o vacuómetro con el fin de controlar las presiones de entrada a la bomba.
9. Tacómetros durante la prueba inicial en el motor de cada bomba.
10. Sistemas de auto lubricación en las bombas y cebado automático, en caso de que éste se requiera.
11. Relés de mínima potencia conectado al motor, de máxima potencia para proteger contra altos voltajes, diferencial de fases contra variaciones de tensión de una fase individual y de contacto a tierra para proteger el motor.

#### **6.5.10.2 Sala de Control**

El diseño de la estación de bombeo debe contemplar una sala de control hacia la cual los sistemas de medición deben transmitir los datos y en la cual se deben ubicar los 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 cuando éste exista, la temperatura y presión de aceite en los motores, el voltaje y amperaje de las líneas de alimentación de la bomba 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. Todos los datos transmitidos a la sala

de control simultáneamente deben ser transmitidos a la sala de control general del sistema de acueducto de EPM.

### **6.5.11 Instalaciones complementarias para las estaciones de bombeo**

#### **6.5.11.1 Accesos y escaleras**

En caso de 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, el diseño debe incluir escaleras metálicas con barandilla, peldaños amplios y piso antideslizante.

#### **6.5.11.2 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.

#### **6.5.11.3 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 sean importantes en la prevención de accidentes. La señalización debe cumplir con todo lo establecido por EPM, y adicionalmente se debe tener en cuenta lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 1461. Las señales contra incendio deben seguir lo establecido en las Normas Técnicas Colombianas NTC 1931 y NTC 1867.

#### **6.5.11.4 Ventilación**

Con respecto a la ventilación, el diseño de la estación de bombeo debe tener en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Todas las salas, compartimentos, 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 Colombiana NTC 1260.

#### **6.5.11.5 Protección contra incendios**

En la estación de bombeo deben colocarse extintores contra incendio en sitios de fácil acceso donde puedan ocurrir inicios de incendio. La protección contra incendios debe cumplir con lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 1483.

#### **6.5.11.6 Equipos de movilización y cargue**

El diseño de la estación de bombeo debe incluir elementos que permitan el transporte y la 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.

#### **6.5.11.7 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 estación de bombas.
2. Cuando los pozos de drenaje no puedan ser evacuados por gravedad, deben disponerse bombas para tal fin. Estas bombas deben accionarse automáticamente, mediante el uso de sensores que detecten el nivel del agua en los pozos de drenaje.

#### **6.5.12 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 total, altura topográfica, velocidad, potencia hidráulica, eficiencia de las bombas, altura neta de succión positiva (NPSH) de las bombas, 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 Numeral 5.5.2.

#### **6.5.13 Protocolos de prueba del diseño**

Como parte del diseño, el diseñador 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%.

El diseño también debe establecer la forma de recolección y/o transmisión directa de datos de las estaciones de bombeo a la estación de control central y a las bases de datos de EPM.

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.

#### **6.5.14 Uso de tecnologías de información para el diseño de estaciones de bombeo**

El diseño de las estaciones de bombeo y de sus tuberías de impulsión y succión 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 de 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 de 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 Numeral 4.5.3 de esta norma.

El diseño dentro del programa de modelación hidráulica debe partir de la información planimétrica y altimétrica de la zona de interés. Esta información debe provenir del SIGMA de EPM. En caso de 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 Geográfico y las bases de datos establecidos por el SIGMA.

El diseño debe tener en cuenta la información de potencia de la(s) bomba(s), eficiencia de la(s) bomba(s), curva(s) de la(s) bomba(s), 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 EPM. 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 EPM.

#### **6.5.15 Referenciación de las estaciones de bombeo**

Para la referenciación de las tuberías de impulsión y succión, incluyendo todos los accesorios y elementos de control, el diseño debe seguir el “Manual para la referenciación de redes de acueducto y alcantarillado”, en su versión vigente<sup>12</sup>, de EPM. Se debe seguir el Capítulo 19 “Referenciación de las redes de acueducto” de este manual. En particular, se debe seguir el Numeral 19.1 “Tuberías de Acueducto” para la referenciación de tuberías, el Numeral 19.2 “Válvulas” para la referenciación de las válvulas y los Números 19.3 “Accesorios” y 19.4 “Sistemas controladores de presión” para los accesorios.

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.

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.

<sup>12</sup>

[http://www.EPM.com/epmcom/contenido/proveedores/manuales/manual\\_aguas/index.htm](http://www.EPM.com/epmcom/contenido/proveedores/manuales/manual_aguas/index.htm)

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.

## **6.6 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO RELACIONADOS CON EL DISEÑO**

### **6.6.1 Inspecciones preliminares**

El diseño de la estación de bombeo debe indicar el tipo de inspecciones preliminares que deben hacerse 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 hacerse 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 éstos son de accionamiento automático.
5. Aseguramiento de la perfecta alineación de los ejes motor-bomba.

6. Verificación de los niveles de ruido, según lo descrito en el Numeral 6.4.14.

### **6.6.2 Pruebas preliminares**

Además de las pruebas realizadas y detalladas en el protocolo de pruebas preparado por el diseñador, 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 de EPM.

Las pruebas preliminares deben llevarse a cabo de acuerdo con los siguientes requisitos:

#### **6.6.2.1 Pozo de succión**

En caso de que en la estación de bombeo exista un pozo de succión, debe hacerse 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.

#### **6.6.2.2 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. Se deben medir el número de revoluciones por minuto, la presión en las líneas de succión y descarga, la presión y temperatura del aceite, y calcularse la altura neta de succión positiva (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. 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.

#### **6.6.2.3 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.

#### **6.6.3 Pruebas hidrostáticas para tuberías de impulsión**

Una vez que finalice 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.

#### **6.6.4 Medición de caudales**

Una vez finalizadas las pruebas hidrostáticas, y después de llenar la zanja en los tramos enterrados de la 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 tubería de impulsión. El diseñador, dentro del protocolo de pruebas, debe establecer el tipo de aparatos de medición, su precisión y el nivel de duración de la prueba.

#### **6.6.5 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 diseñador, 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, poniendo especial cuidado en aquellos puntos de la tubería donde haya cambios de dirección, tanto verticales como horizontales. 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 del período de diseño del proyecto durante su operación normal.

#### **6.6.6 Golpe de Ariete**

Teniendo en cuenta lo establecido por el diseñador con respecto al golpe de ariete según lo descrito en el Numeral 6.5.6, 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 EPM, con el fin de comparar con los datos que se obtengan durante todo el período de operación normal de la red.

#### **6.6.7 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. Con respecto a las válvulas y otros equipos electromecánicos, debe verificarse su correcto funcionamiento antes de proceder a su operación, cumpliendo con las normas técnicas correspondientes especificadas en el Capítulo 7 de las NEGC.

### 6.6.8 Ventosas

En todas las ventosas deben hacerse 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.

### 6.6.9 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 NEGC y con las Normas Técnicas Colombianas correspondientes o en su defecto con las normas AWWA C508, AWWA C510, o cualquier otra norma internacional equivalente, previa aprobación de EPM.

En el caso de utilizar aleaciones de cobre como material de fabricación de estas válvulas, debe cumplirse con la Norma Técnica Colombiana NTC 1762.

## 6.7 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN RELACIONADOS CON EL DISEÑO

El diseño de la estación de bombeo debe asegurar que durante la operación se pueda cumplir con los requisitos mínimos mostrados a continuación:

1. Cuando el tiempo de bombeo supere las 18 horas diarias de operación, se debe solicitar un diagnóstico del estado de la estación, lo cual puede llevar a labores de recuperación del estado óptimo de operación o su posible necesidad de ampliación.
2. 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 de que se presente cualquier situación anormal.

3. 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 de que los niveles de agua impidan el normal funcionamiento del sistema de bombeo.
4. Todos los dispositivos de medición y control deben dar indicaciones visuales y sonoras de una situación potencial de peligro. Esto se debe hacer tanto en la sala de control como en el centro de operaciones de EPM.
5. Los parámetros que deben ser permanentemente medidos en la estación de bombeo, y deben ser enviados tanto a la sala de control como al control central de EPM, debe 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.

### 6.7.1 Mediciones de caudal

Durante todo el período del diseño del proyecto debe medirse el caudal de bombeo, en forma continua y se deben guardar los registros, con el fin de mantener una base de datos que permita establecer el balance de agua en la línea de impulsión y en la distribución aguas abajo de ésta. En el caso de las medidas de caudal es obligatorio tener mediciones telemétricas, 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.

### 6.7.2 Golpe de Ariete

En todas las líneas de impulsión de bombes de EPM, debe medirse las sobrepresiones y las subpresiones generadas bajo condiciones normales de operación de flujo no permanente, anotando en forma específica la forma de operación de las válvulas y bombas. En este caso es obligatorio el uso de telemetría. 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 las bases de datos de EPM para alimentar los modelos hidráulicos del sistema de acueducto.

### 6.7.3 Línea Piezométrica

A lo largo de todo el período de diseño del proyecto debe hacerse una revisión de la línea piezométrica o línea de gradiente hidráulico a lo largo de todas las tuberías de impulsión. La medición de la línea piezométrica debe ser permanente, y 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. Para las tuberías de impulsión de EPM es obligatorio tener instrumentación telemétrica. Los registros deben ser guardados en las bases de datos de EPM con el fin de alimentar los modelos hidráulicos de la red de distribución y la red de conducciones de agua potable.

### 6.7.4 Instrumentación y telemetría en las tuberías de impulsión

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.

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.

Con respecto a los medidores de velocidad y de caudal, debe verificarse que la capacidad de éstos cubra todo el rango de velocidades que puedan presentarse en la tubería, tanto bajo condiciones normales de operación como bajo condiciones de emergencia.

### 6.7.5 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 diseñador 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.

### 6.7.6 Uso de tecnologías de información para la operación

La operación de las tuberías de impulsión se debe modelar en un programa de modelación hidráulica de redes, preferiblemente 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.

## 6.8 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO RELACIONADOS CON EL DISEÑO

En general se debe seguir, para el mantenimiento de las estaciones de bombeo,

todo lo establecido en el Sistema de Gestión de Calidad de EPM, para lo cual el diseño debe garantizar la total aplicación de este documento.

Para aquellos municipios atendidos por EPM que no sean parte del Sistema de Gestión de Calidad, el diseño debe tener en cuenta los aspectos mostrados en los numerales 6.8.1 a 6.8.7. Igualmente, cuando dichos aspectos no se encuentren específicamente detallados para aquellos municipios que sí formen parte de dicho sistema, se recomienda la aplicación de dichos numerales.

### **6.8.1 Aspectos Generales**

El diseño de la estación de bombeo debe incluir un programa rutinario de labores de inspección, mantenimiento y reparación, estableciendo una serie de actividades diarias, semanales, mensuales y anuales. 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.

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.

Con respecto a las válvulas, incluyendo las válvulas de cheque, se debe verificar el funcionamiento de operación de ésta por lo menos cada seis meses.

En el caso de la cámara de succión, si ésta existe, se debe hacer limpieza y verificación de filtraciones, por lo menos una vez cada seis meses. Se debe tener cuidado en el mantenimiento tanto de los tanques alimentadores, como en las bombas, para evitar que ingresen agentes contaminantes al sistema.

### **6.8.2 Mantenimiento correctivo y preventivo**

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, 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.

### **6.8.3 Suspensión del servicio por mantenimiento programado**

En caso de que por un mantenimiento sea necesario suspender el servicio, ésta debe limitarse a un período máximo de 12 horas en las zonas afectadas del municipio. EPM debe informar a la comunidad sobre los horarios y cortes programados en el suministro de agua.

El diseño debe establecer, haciendo uso de modelos hidráulicos del sistema, aquellos clientes que van a ser afectados por la suspensión del servicio o por bajas temporales en la presión del suministro de agua potable.

### **6.8.4 Registro de mantenimientos**

Siempre que EPM haga labores de mantenimiento en las estaciones de bombeo y en las tuberías de impulsión y succión, 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. EPM debe llevar una base de datos con los registros históricos de los daños ocurridos en la estación de bombeo y las tuberías, así como de los mantenimientos preventivos que se hagan en ésta.

### 6.8.5 Disponibilidad de repuestos

En el caso de que se requieran repuestos para labores de mantenimiento de las estructuras y/o accesorios que conforman las estaciones de bombeo, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

1. La consecución y localización in situ de los repuestos debe ser inmediata para aquellos casos que impliquen la suspensión del servicio, ya sea por mantenimiento preventivo o por situaciones de emergencia.
2. Para los repuestos que no impliquen suspensión del servicio, la consecución y localización in situ de éstos debe hacerse como máximo en un día.

### 6.8.6 Mantenimiento de 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.

En todo caso el mantenimiento de válvulas y accesorios debe realizarse teniendo en cuenta las normas técnicas respectivas.

### 6.8.7 Uso de tecnologías de información para labores de mantenimiento

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.

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 de que existan cambios en esta información, ésta debe ser enviada al Sistema de Información Geográfico del SIGMA de EPM.

### 6.8.8 Aspectos ambientales en la etapa de Operación y Mantenimiento

Al igual que los tanques de almacenamiento y/o compensación, las estaciones de bombeo y las zonas cercanas a su área de operación, deben permanecer limpias y agradables a la vista para no distorsionar el paisaje urbano. Se deben tener en cuenta los siguientes impactos como mínimo:

1. Ruido generado por los motores.
2. Emisión de gases a la atmósfera, por la combustión de los motores.

Para la mitigación de estos impactos se recomienda tener en cuenta las siguientes acciones:

1. Insonorizar la sala de máquinas con material aislante.
2. Si es necesario, la estación debe rodearse con muros y/o árboles que amortigüen el ruido.
3. Aislar la zona de operación de la estación y controlar el ingreso de personas.
4. Si la estación hace uso de motores de combustión, se debe controlar la emisión de gases para cumplir con los estándares de emisión indicados en el Decreto 948 de 1995, o aquel que lo remplace.

## Capítulo 7 **TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y COMPENSACIÓN**

Los tanques de almacenamiento son depósitos de agua que tienen la función de almacenar agua y suministrar las variaciones entre el caudal de entrada y el consumo a lo largo del día. El objetivo primordial de los tanques de almacenamiento que opera EPM es cubrir las necesidades de demanda en los momentos pico, permitiendo una recuperación del volumen en las horas de bajo consumo para poder suministrar, sin problemas, en las máximas demandas. Dentro de este tipo de tanques se incluyen aquellos que se encuentran a la salida de las plantas de tratamiento.

Los tanques de compensación operados por EPM tienen una capacidad de almacenamiento muy baja y la función principal es actuar como un regulador de presión en sistemas de bombeo. Estos tanques funcionan a filo de agua, es decir que lo que entra al tanque inmediatamente se consume en la distribución por gravedad; prácticamente es un bombeo a la red con quiebre de presión mediante un tanque de compensación.

### 7.1 **ALCANCE**

Este Capítulo tiene como objetivo indicar los requisitos mínimos y las condiciones básicas que deben cumplir los tanques que se diseñen y construyan como parte de los sistemas de acueducto de EPM, indicando los aspectos relativos a los estudios previos y el diseño, incluidas sus obras anexas y equipos complementarios.

En este capítulo también se incluyen aquellos aspectos que desde el diseño tengan influencia sobre los procesos de construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los tanques de almacenamiento y compensación.

La Tabla 7-1 muestra un esquema del contenido de este capítulo:

**Tabla 7-1 Esquema del contenido del Capítulo 7 "Tanques de almacenamiento y compensación"**

<b>Componente</b>	<b>Capítulo</b>
Estudios Previos	7,2
Condiciones Generales	7,3
Parámetros de Diseño	7,4
Dispositivos anexos	7,5
Obras complementarias	7,6
Aspectos de la Puesta en Marcha	7,7
Aspectos de la Operación	7,8
Aspectos del Mantenimiento	7,9

## 7.2 **ESTUDIOS PREVIOS**

### 7.2.1 **Concepción del proyecto**

El diseñador 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 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.

En caso de que se trate del diseño de un tanque de compensación, el diseñador debe conocer las zonas de presión en la red de distribución aguas abajo del tanque, las características de presión en la conducción aguas arriba del tanque y el caudal máximo horario de consumo. Un tanque de compensación se considera necesario para los siguientes casos:

1. Cuando se tenga una red de distribución alimentada directamente por una estación de bombeo, con tanque de control o compensación, con el fin de mantener presiones uniformes para todos los puntos de la curva de consumo de agua, el tanque se debe ubicar por encima del nudo más alto de consumo en la red.
2. El uso de los tanques de compensación debe limitarse únicamente a situaciones especiales, ya que para condiciones normales de abastecimiento de agua de una red de distribución, se debe contar con tanques de almacenamiento.

El diseñador debe conocer los siguientes puntos en la etapa de conceptualización de los tanques:

1. La curva de 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 que lleguen 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, las estructuras de disipación de energía y las estructuras de entrega a los cuerpos receptores o al sistema de alcantarillado.

### 7.2.2 Infraestructura existente

Para el proceso de diseño deben identificarse las principales obras de infraestructura construidas y proyectadas dentro de la zona de influencia del (los) tanque(s) que se va(n) a desarrollar, tales como calles, avenidas, puentes, vías de metro y ferrocarril, líneas de transmisión de energía eléctrica, sistemas de alcantarillado y cualquier otra obra de importancia.

### 7.2.3 Estudio de la demanda de agua

Con el fin de llevar a cabo el diseño de los tanques, el diseñador debe conocer el estudio de la demanda de agua realizado por EPM para la zona del municipio objeto del diseño. En caso de que no exista esta información debe realizar el estudio de acuerdo con lo establecido en el Capítulo 3 “Población, Dotación y Demanda” de esta norma, para determinar la capacidad actual y futura del tanque, de acuerdo con la red de distribución aguas abajo.

### 7.2.4 Curvas de demanda horaria

Para el caso de tanques existentes, las curvas de demanda horaria deben ser obtenidas por el diseñador haciendo uso de la información histórica del SCADA, del comportamiento horario de los circuitos y de las curvas de demanda para los circuitos que existen en EPM.

Para el caso de un tanque nuevo, conectado a una nueva red de distribución, el diseñador podrá hacer uso de información acerca de la curva de demanda existente en un circuito cercano al proyecto. Debe tener en cuenta que

podrían existir variaciones con respecto al caudal máximo ( $Q_{\max}$ ) y al caudal mínimo ( $Q_{\min}$ ). En este caso se debe contar con la aprobación previa de las Empresas Públicas de Medellín.

### 7.2.5 Aspectos generales de la zona

El diseñador debe conocer todos los aspectos generales de la zona del municipio en la que se desarrollará el tanque. Como mínimo el diseñador 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. 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 el tanque; 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.

### 7.2.6 Estudios topográficos

Con respecto a los estudios topográficos, en el caso de diseño de tanques de almacenamiento y/o compensación, se debe seguir lo establecido en el manual de topografía de las Empresas Públicas de Medellín: "Alcance del trabajo y especificaciones para los levantamientos o localizaciones de trabajos de topografía en las investigaciones para diseño de redes de acueducto y/o alcantarillado, conducciones, impulsiones y obras civiles (plantas de tratamiento, tanques, estaciones de bombeo, edificaciones, etc.)". Se debe seguir la versión de junio de 2002 de este manual, o aquella que la remplace.

En todos los casos se recomienda hacer levantamientos reales en campo, con propósitos de verificación.

### 7.2.7 Condiciones geológicas

El diseñador debe conocer todas las condiciones geológicas y las características del subsuelo en las zonas donde se proyectará el tanque. 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 diseñador debe conocer específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona donde se proyectará el tanque. En particular debe tenerse en cuenta lo establecido en la norma sismorresistente NSR-10, o aquella que la reemplace, con respecto a los niveles de amenaza sísmica de las diferentes zonas del territorio de los municipios atendidos por EPM.

### 7.2.8 Estudio de suelos

Para el diseño de los tanques se debe seguir lo establecido en el Capítulo G2, "Aspectos Geotécnicos" del Título G del RAS vigente. En todo caso se debe considerar la ayuda de un especialista en Geotecnia que indique aquellos estudios adicionales a los mínimos establecidos por el RAS, en su versión vigente.

Adicionalmente, el diseño debe recopilar la información sobre sondeos que existan en las Empresas Públicas de Medellín y que hayan sido hechos para el desarrollo o construcción de otras obras en la zona del municipio objeto del diseño del tanque.

### 7.2.9 Generación de alternativas

#### 7.2.9.1 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 Numeral 2.2.6 de esta norma.

En caso de 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 de que se trate de un 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 estas normas, 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.

### 7.2.9.2 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, indicando en cada una la capacidad de almacenamiento y compensación del tanque y las necesidades de regulación.

En todo caso, se debe disponer del espacio suficiente para la construcción de las futuras ampliaciones, previendo desde la etapa de

diseño el menor número de interrupciones posibles en el servicio de los tanques ya construidos.

### 7.2.10 Otros estudios previos

El diseño de los tanques de almacenamiento y/o compensación también debe incluir la consecución de estudios ya hechos, o el desarrollo de los siguientes estudios previos:

1. Disponibilidad de energía eléctrica en las posibles alternativas de localización de los tanques.
2. Calidad de agua que la red de conducciones de EPM entregará al nuevo tanque, en las condiciones de caudal que produzcan los menores niveles en los parámetros de calidad de agua a la llegada al tanque.
3. Condiciones de operación especiales en la red de conducciones que puedan tener impacto sobre la operación normal de los tanques objetos del diseño, tales como mantenimientos especiales, lavado de conducciones, etc.
4. Características de la red de alcantarillado y los cuerpos de drenaje urbano en zonas cercanas al tanque objeto del diseño, con el fin de establecer su capacidad de recepción de las aguas de lavado de los tanques.

#### 7.2.10.1 Aspectos ambientales en la etapa de Planeación y Diseño

Los impactos ambientales potenciales, asociados a este tipo de obra son de tipo urbano y se deben tener en cuenta la Ley 769 del 2002, Resolución 1050 del 2004 del Ministerio del Transporte o aquella que lo modifique “Señalización de seguridad y protección en las zonas de trabajo”, la norma NEGC 1300 “Impacto comunitario” y el Manual Corporativo de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional de Empresas Públicas de Medellín”.

## 7.3 CONDICIONES GENERALES

### 7.3.1 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 en el terreno.
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 de 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 todo caso 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 remplazo de los ánodos.

### 7.3.2 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 localizada aguas abajo del tanque. Para esto, se debe estudiar el trazado de la red según lo descrito en el Numeral 5.3.1 de esta norma, 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 las estaciones reguladoras de presión y por consiguiente se debe recomendar la recalibración de éstas.

### 7.3.3 Vulnerabilidad y amenaza sísmica

Con propósitos de diseño de los tanques de almacenamiento y/o compensación, es necesario conocer el nivel de amenaza sísmica de la zona en la cual se construirá. Se debe tener en cuenta todo lo establecido en la Norma Sismorresistente Colombiana NSR-10, o aquella que la remplace, con respecto a los niveles de amenaza sísmica en las diferentes zonas de los municipios atendidos por EPM. En particular se deben estimar los daños potenciales y categorizarlos de acuerdo con su severidad.

Los tanques son vulnerables a la deformación del suelo causada por inundaciones, problemas geotécnicos, geológicos y/o topográficos. El diseño debe establecer el nivel de vulnerabilidad. Cuando por razones geológicas, 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 frente a fenómenos sísmicos, los materiales de los componentes de los tanques deben estar diseñados para soportar los esfuerzos de tensión y corte generados por el sismo de

diseño, aplicables a los municipios atendidos por EPM.

El diseño debe cumplir con todo lo establecido en la Resolución 1096 de noviembre 17 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico, en sus Artículos 193 “Cargas y Diseños Sísmico de Tuberías”, 194 “Diseño de Tanques y Comportamientos Estancos de Concreto Reforzado”, 195 “Diseño de Tanques de Acero” y 196 “Tanques de Otros Materiales”, o aquella que la remplace.

#### **7.3.4 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.

#### **7.3.5 Anchos de servidumbres**

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 el ancho de los retiros no sea superior a 6 m.

#### **7.3.6 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 el ángulo para desarrollarlos, definido por el estudio de suelos, son fundamentales para establecer el área del lote. En todo caso, el tanque debe tener una zona de parqueo.

## **7.4 PARÁMETROS DE DISEÑO**

### **7.4.1 Período de diseño**

El período de diseño para los tanques de almacenamiento y/o compensación debe ser de 30 años.

### **7.4.2 Caudal de diseño para las tuberías de entrada y salida del tanque**

El caudal de diseño para la salida del tanque de almacenamiento y/o compensación es el caudal máximo horario (QMH) al final del período de diseño, definido en el Numeral 3.7.3 de esta norma, teniendo en cuenta la variación del consumo en la red de distribución localizada aguas abajo del tanque.

El caudal de entrada al tanque de almacenamiento y/o compensación, depende de los parámetros de diseño y del tiempo de operación de los bombeos. En caso de que se bombee durante 24 horas, el caudal de entrada es el caudal máximo diario (QMD). En caso de que se bombee durante períodos inferiores a las 24 horas, el caudal de entrada al tanque corresponde al caudal máximo diario (QMD) multiplicado por un factor igual a 24 horas dividido por el número de horas efectivas de bombeo.

En el caso de tanques abastecidos por gravedad desde el sistema de conducciones de EPM, el caudal de entrada al tanque es el caudal máximo diario (QMD), calculado de acuerdo con la demanda proyectada al período de diseño de la red de distribución localizada inmediatamente aguas abajo del tanque.

### **7.4.3 Número de tanques**

Se recomienda, para cada circuito del sistema de acueducto de EPM, tener como mínimo dos tanques o, en el caso de tanques rectangulares, al menos uno con dos módulos o compartimientos que operen de forma independiente.

Para labores de mantenimiento, y si no hay un módulo adicional, se recomienda hacer un by pass a la llegada del tanque para alimentar la

red directamente de la conducción, verificando en todo momento los requerimientos de calidad de agua.

En todos los casos, el número de tanques debe obtenerse como resultado del análisis de generación de alternativas y factibilidad de ampliación descrito en el Numeral 7.2.9.

#### 7.4.4 Capacidad de regulación

En el caso de tanques de almacenamiento, el volumen de regulación debe estar de acuerdo al nivel de complejidad del sistema. El volumen de regulación es un porcentaje del volumen de consumo total, presentado en el día de máximo consumo en la red de distribución localizada inmediatamente aguas abajo del tanque, el porcentaje esta dado en la siguiente tabla:

**Tabla 7-2.** Capacidad de regulación

<b>NIVEL DE COMPLEJIDAD</b>	<b>PORCENTAJE</b>
BAJO	33.33 %
MEDIO y MEDIO ALTO	33.33 %
ALTO	25.00 %

Esto corresponde a un almacenamiento equivalente a un período entre 4 y 6 horas del  $Q_{md}$  para el día de mayor consumo.

#### 7.4.5 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 de la red de distribución.

#### 7.4.6 Capacidad de demanda contra incendio

El volumen destinado a la protección contra incendios se debe determinar considerando una duración de incendio de 2 (dos) horas. El caudal contra incendios se debe calcular utilizando la Ecuación 7.1:

$Q_{in} = \frac{3.86}{60} \sqrt{\frac{P}{1000}} \cdot \left( 1 - 0.01 \sqrt{\frac{P}{1000}} \right)$	<b>Ecuación 7.1</b>
------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

donde

$P$  = Población servida (hab)

$Q_{in}$  = Caudal de agua contra incendio ( $m^3/s$ )

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 7.2:

$V = Q_{in} T$	<b>Ecuación 7.2</b>
----------------	---------------------

donde

$V$  = Volumen de agua para protección contra incendio ( $m^3$ )

$Q_{in}$  = Caudal de agua contra incendio ( $m^3/s$ )

$T$  = Duración de incendio (s)

#### 7.4.7 Volumen del tanque

El volumen neto del tanque de almacenamiento corresponde al mayor entre el volumen de regulación y el volumen necesario para satisfacer la demanda contra incendios.

El volumen bruto del tanque es el volumen neto mas las siguientes consideraciones:

1. Un borde libre de por lo menos 0.3 m, con el fin de permitir la ventilación correcta del tanque.
2. La sumergencia de la tubería de salida, acorde con el numeral 7.5.3 de esta norma.

3. La altura que garantice la sumergencia necesaria para el buen funcionamiento de las bombas, si éste además es un tanque succión.

Una vez establecido el volumen del tanque, el diseño puede aumentar el volumen del tanque, luego de definir cuál es el máximo período que se puede suspender el servicio dependiendo del circuito o subcircuito que se localice inmediatamente agua abajo del tanque.

### 7.4.8 Materiales

Los tanques de almacenamiento y/o compensación pueden ser construidos en concreto reforzado, fibra de vidrio o vidrio fusionado al acero. En el caso de que el diseño incluya materiales diferentes, éstos deben contar con la aprobación previa de EPM. Los materiales deben adicionalmente cumplir con lo siguiente.

1. Las Normas del Código Colombiano de Construcciones Sismorresistentes, NSR-10, o aquel que lo reemplace.
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. Para tanques de concreto deberá usarse concreto de 35 Mpa y relación agua-cemento menor que 0.4.
6. Para tanques en vidrio fusionado al acero, el espesor nominal mínimo requerido de la superficie vítrea es el siguiente: interior 260 a 460 micras y exterior 180 a 380 micras. Además la superficie interior deberá ser en colores claros, preferiblemente de color blanco.
7. Las tuberías metálicas, CCP o acero inoxidable, enterradas debajo o en el perímetro del tanque deben tener continuidad eléctrica y estación de medición.

8. 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

Según el material, se debe cumplir con las normas técnicas mostradas en la Tabla 7-3 o cualquier otra norma aceptada internacionalmente, equivalente, previa aprobación de EPM.

Tabla 7-3 Normas Técnicas

<b>NORMA</b>	<b>NOMBRE</b>
AWWA D103	Factory-Coated Bolted Steel Tanks for Water Storage
AWWA D110	Wire – Wound circular prestressed concrete water tanks
AWWA D120	Thermosetting Fiberglass reinforced plastic
AWWA D130	Flexible membrane lining and floating cover materials for potable water storage

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.

### 7.4.9 Recubrimiento interno

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:

**Tabla 7-4 Normas de recubrimiento interno para tanques**

<b>NORMA</b>	<b>NOMBRE</b>
AWWA D 110	Wire & Strand Wound, Circular, Prestressed Concrete Water Tanks.
AWWA D 120	Thermosetting Fiberglass-reinforced Plastic Tanks.
AWWA D 103	Factory Coated Bolted Steel Tanks for Water Storage

### 7.4.10 Distancia a otras redes

La distancia horizontal mínima de un tanque enterrado o semienterrado con respecto a una tubería de alcantarillado debe ser mayor que 30 m, cuando el terreno es impermeable. La distancia vertical mínima debe ser de 1.0 m a partir del fondo del tanque; si el terreno es permeable, la distancia horizontal mínima debe ser de 45 m.

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.

### 7.4.11 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, más 5.0 m, cuando la alimentación al tanque sea por su parte superior.

### 7.4.12 Tiempo de llenado del tanque

El tiempo de llenado del tanque depende del caudal máximo de entrada y de la operación de la válvula en ésta. El diseño debe garantizar que tanto la tubería como la válvula de entrada entreguen el caudal necesario para el llenado. Adicionalmente, el diseñador debe establecer la forma de llenado y su tiempo para cada uno de los tanques que conformen el sistema de abastecimiento de agua potable de EPM. En

particular, 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 de resuspensión de sólidos sedimentados en el fondo del tanque.

### 7.4.13 Niveles

Los niveles máximos y mínimos del tanque deben fijarse, desde la etapa de diseño, de tal manera que las presiones en la red de distribución de agua potable, aguas abajo de los tanques, se encuentren dentro de los límites aceptables de servicio establecidos en el Numeral 5.4.7 de esta norma, referente a las presiones mínimas y máximas en la red de distribución de agua potable de EPM. Si el tanque forma parte de la succión de una estación de bombeo, el diseño debe asegurar la conservación de un nivel mínimo para evitar la formación de vórtices y la posible entrada de aire en la tubería de succión. Con propósitos de controlar la calidad del agua, todo tanque debe tener un nivel mínimo de operación y la tubería de salida debe localizarse 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.

### 7.4.14 Tiempo de vaciado y caudal de vaciado

El tiempo de vaciado del tanque se calcula de acuerdo con la Ecuación 7.3 mostrada a continuación. Sin embargo, dicho tiempo debe ser inferior a 8 horas. La Ecuación 7.3 es válida para tanques prismáticos, es decir, aquellos en los cuales el área superficial es constante en toda la altura.

$T = \frac{2 \cdot A \cdot \sqrt{h}}{m \cdot a \cdot \sqrt{2g}}$	<b>Ecuación 7.3</b>
------------------------------------------------------------------	---------------------

donde

- $T$  = Tiempo de vaciado (s)
- $A$  = Área superficial del tanque (m<sup>2</sup>)
- $h$  = Cabeza sobre el desagüe (m)

- $a$  = Área del desagüe ( $m^2$ )  
 $g$  = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )  
 $m$  = Coeficiente de contracción del  
 desagüe (-)

El coeficiente  $m$  de contracción debe variar entre 0.5 y 0.6.

El diseño debe asegurar que el caudal máximo de salida de agua, durante la operación de vaciado del tanque objeto del diseño, sea menor que el caudal máximo de entrada de aire a través del sistema de ventilación del tanque.

Adicionalmente, el diseño debe asegurar que el sistema de alcantarillado o el cuerpo receptor del desagüe del tanque tenga capacidad suficiente para transportar el caudal máximo de vaciado del tanque. El caudal de vaciado corresponde al volumen del tanque, cuando se encuentre completamente lleno, dividido el tiempo de vaciado calculado de acuerdo con la Ecuación 7.3 u 8 horas, aquel que sea menor.

#### 7.4.15 Profundidad del fondo del tanque

Como criterio general, se recomienda enterrar el fondo del tanque lo menos posible, asegurando que éste siempre quede por lo menos 0.5 metros por encima del nivel freático máximo. En caso contrario, debe asegurarse que no exista riesgo de contaminación de aguas que fluyan hacia el interior del tanque. Adicionalmente, en caso de que el tanque se encuentre por debajo del nivel freático, el diseño debe considerar los efectos de flotación para el diseño estructural.

#### 7.4.16 Sismorresistencia

Para el diseño de los tanques de almacenamiento y/o compensación para los sistemas de distribución de EPM, el diseñador debe establecer la amenaza sísmica del municipio en la zona en la cual va a localizarse el proyecto, teniendo en cuenta todo lo establecido en la norma sismorresistente colombiana NSR-10, o aquella que la reemplace. El diseñador debe tener en cuenta los mapas de amenaza sísmica existentes para la zona en la cual se localice el proyecto. En todo caso, los materiales utilizados para los

tanques deben estar diseñados para soportar los esfuerzos generados por el sismo de diseño, aplicables a la ciudad de Medellín o aquellos municipios en donde el servicio de agua potable sea llevado a cabo por EPM. El diseño debe hacer uso de los planos de microzonificación sísmica existentes para la ciudad de Medellín y los municipios del Valle de Aburrá.

#### 7.4.17 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 Numerales 4.5.12 y 5.5.8 de esta norma.

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:

1. Caudal mínimo de consumo en la red de distribución bajo las condiciones de nivel máximo y nivel mínimo en el tanque.
2. Caudal máximo horario actual, bajo las condiciones de nivel mínimo y nivel máximo en el tanque.
3. Caudal máximo horario correspondiente al final del período de diseño del tanque, bajo las condiciones de nivel máximo y nivel mínimo en éste.
4. Operaciones hidráulicas especiales en la red tales como lavados de las tuberías.
5. 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 en la red de distribución localizada inmediatamente aguas abajo de éste. Para el análisis de calidad de agua, el

diseño debe utilizar las condiciones de calidad mínima de agua garantizadas por EPM a la entrada del tanque objeto del diseño.

Para llevar a cabo todos los análisis anteriores, el diseño debe utilizar un programa de cálculo hidráulico de redes de distribución de agua potable, basado en el método de 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, dada una concentración inicial de entrada al tanque. El módulo de calidad de agua del programa también debe permitir el cálculo de la vida media de agua en la red y de la edad del agua en los nudos de cada una de ésta. El programa debe tener capacidad de simular las variaciones de nivel en el tanque de almacenamiento y/o compensación objeto del diseño.

Con respecto a la comprobación del diseño estructural del tanque, se debe seguir todo lo establecido en las “Normas y Especificaciones Generales de Construcción” de EPM, así como el Título G “Aspectos Complementarios” del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS vigente. En particular, se debe comprobar el diseño bajo las condiciones de nivel máximo, nivel mínimo y variación máxima del nivel en el tanque.

#### **7.4.18 Protocolo de pruebas dado por el diseñador**

En los procesos de diseño de los tanques de almacenamiento y/o compensación para EPM, el diseñador debe establecer el protocolo de pruebas que se debe llevar a cabo una vez finalice la construcción del tanque. El diseño debe seguir todo lo establecido en los Numerales 4.5.13 del Capítulo 4 y 5.5.10 del Capítulo 5 de esta norma.

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 diseñador 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 de agua al interior del tanque y en la red de distribución, estableciendo en todos los casos sus precisiones y rangos de medición.

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 diseñador, 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.

## **7.5 DISPOSITIVOS ANEXOS**

### **7.5.1 Forma del tanque**

La forma del tanque de almacenamiento y/o compensación debe proporcionar la máxima economía global, es decir, debe ser un diseño optimizado teniendo en cuenta todos los costos de cimentación, estructura, utilización del área de ubicación, equipos de operación y control e integración entre las diferentes unidades y con las redes de distribución. Para el caso de EPM se deben preferir los tanques de forma circular, rectangular o cuadrada.

La forma del tanque, en particular, debe garantizar una correcta operación hidráulica de la red de distribución aguas abajo de éste, incluyendo aspectos de calidad de agua. Por consiguiente, la forma del tanque debe evitar la formación de zonas muertas dentro de éste que impliquen deterioro en la calidad del agua potable; todos los tanques deben tener cubierta.

### 7.5.2 Entrada de agua al tanque

La entrada al tanque de almacenamiento y/o compensación debe cumplir con las siguientes disposiciones:

1. La entrada debe estar siempre acompañada de una válvula de flujo anular, a menos que haya una alimentación por bombeo.
  2. La entrada de agua debe ser del tipo cuello de ganso para todos los tanques rectangulares y circulares utilizados por EPM.
  3. La entrada debe colocarse de tal forma que permita la circulación y minimice la posibilidad de zonas muertas dentro del tanque, evitando deterioros en la calidad del agua.
  4. De ser posible, la entrada de agua al tanque debe estar localizada en la parte superior, especialmente cuando la alimentación se realiza por bombeo.
  5. Cuando la entrada del agua al tanque se localice por encima del nivel máximo del agua, debe amortiguarse el impacto de la caída del agua sobre el fondo del tanque cuando éste se encuentre vacío, con el fin de evitar problemas de erosión en los materiales que conformen las paredes internas y el fondo del tanque.
  6. En el caso de que el diseño contemple una entrada de agua al tanque por debajo del nivel del agua, la tubería de alimentación debe estar acompañada por una válvula de cheque, con el fin de impedir la pérdida del agua en el caso de que ocurra una disminución de presión o falla en las tuberías alimentadoras de la red de conducción o distribución inmediatamente aguas arriba del tanque.
  7. El diseño de la estructura de entrada de agua al tanque debe garantizar que se minimicen las pérdidas de energía.
1. La salida de agua debe ser preferiblemente lateral, independientemente del material que conforme las paredes del tanque.
  2. La salida de agua del tanque debe localizarse lo más alejada de la entrada, desde el punto de vista hidráulico, con el fin de evitar zonas muertas dentro del tanque.
  3. En lo posible, el diseño debe colocar la salida del tanque opuesta a la entrada. En aquellos casos en que esto no sea posible, el diseño debe contemplar la colocación de mamparas dentro del tanque con el fin de lograr un mayor tiempo de retención del agua en el tanque, evitando la formación de cortos circuitos hidráulicos.
  4. El diámetro de la tubería de salida es función del diámetro de la tubería de alimentación de la red de distribución localizada inmediatamente aguas abajo del tanque.
  5. El diseño debe garantizar que la salida tenga las mínimas pérdidas de energía, evitando superar un valor de 0.5 m de caída en la línea piezométrica.
  6. El diseño de la salida de agua del tanque debe evitar la formación de vórtices para cualquier nivel de agua, desde el nivel máximo hasta el nivel mínimo. Con el fin de evitar la formación de vórtices, el diseño puede seguir las siguientes recomendaciones:
    - a. Si la tubería de salida está ubicada en un plano horizontal, la altura del agua sobre la salida debe ser igual a tres veces la mayor dimensión de la abertura.
    - b. Si la salida está situada en un plano inclinado con un ángulo no mayor que 45° con respecto a la horizontal, la altura del agua medida al centro de la tubería de salida debe ser por lo menos tres veces la mayor dimensión de la abertura.
    - c. Si la tubería de salida está situada en un plano inclinado formando un ángulo mayor que 45° con respecto a la horizontal, la altura de agua medida desde la parte más alta de la abertura

### 7.5.3 Salida de agua del tanque

Para el caso de los tanques que conformen parte de las redes de distribución de agua potable operadas por EPM se debe cumplir con las siguientes disposiciones con respecto a la salida de agua de los tanques:

debe ser igual a dos veces la mayor de sus dimensiones.

7. La diferencia de nivel entre la descarga de fondo y la tubería de salida debe ser de por lo menos 0.1 m.
8. Si la salida es de fondo, debe tener materiales recubiertos con el fin de evitar problemas de corrosión en sus parte metálicas.
9. La salida de agua del tanque debe estar dotada de un sistema de cierre automático o manual que pueda maniobrarse desde la parte externa del tanque. Inmediatamente aguas abajo de este sistema de cierre, debe existir una ventosa que permita la entrada de aire en la tubería cuando el sistema se cierre.

#### 7.5.4 Rebose

Todo tanque de almacenamiento y/o compensación debe estar provisto de un sistema de rebose, con el fin de evacuar los posibles caudales de exceso. Las dimensiones de la estructura de rebose deben ser tales que garanticen un caudal de rebose igual o superior al caudal máximo de entrada. Adicionalmente, el diseño debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. El rebose debe descargar por medio de una tubería de GRP, polietileno, polipropileno, acero inoxidable o un material resistente a los rayos UV y al ataque de gases de cloro. Los caudales deben ser evacuados en una cámara independiente tan próxima al tanque como sea posible, y los caudales deben ser evacuados desde allí hasta la tubería de limpieza para lavado del tanque o descarga de fondo.
2. El sistema de rebose no debe limitar la capacidad de almacenamiento del tanque, asegurando que se obtenga el nivel máximo esperado en éste.
3. La cámara receptora de la tubería de rebose debe estar dimensionada de tal forma que se evite su sobrecarga.
4. Cuando el sistema de rebose esté operando a su capacidad máxima, el borde libre en las paredes del tanque

debe ser de 0.3 m como mínimo, con el fin de evitar cualquier presión sobre la tapa del tanque. El diseño estructural del tanque debe asegurar que se soporte esta carga adicional.

5. En el caso de los tanques de almacenamiento y/o compensación para las redes de distribución de agua potable operadas por EPM, 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 de agua en el tanque llegue a una cota que sea 5 cm menor que la cota de rebose.

#### 7.5.5 Control de nivel en los tanques

El diseño de los tanques de almacenamiento y/o compensación para EPM debe asegurar la provisión de un sistema indicador del nivel de agua en el tanque, acompañado por sus respectivas alarmas. En particular, las alarmas deben indicar el momento en el cual el nivel del tanque se aproxima a su nivel mínimo o a su nivel máximo, 5 cm por debajo del nivel de rebose. Para controlar el nivel, el tanque también debe tener un sistema de cierre a la entrada, de operación automática, que disminuya la posibilidad de rebose.

En todos los casos, el sistema utilizado para indicar el nivel de agua en el tanque no debe afectar la calidad del agua potable en éste.

#### 7.5.6 Desagüe

En el fondo del tanque se debe colocar una tubería de desagüe que permita el vaciado de éste, en el tiempo especificado en el Numeral 7.4.14 de este capítulo. El diseño debe asegurar que el fondo del tanque tenga una pendiente entre el 0.05% y el 0.1% hacia la tubería de desagüe.

#### 7.5.7 Válvulas

El diseño debe incluir una válvula de flujo anular para controlar el caudal de entrada al tanque. Para las estructuras de salida y de vaciado del tanque, el diseño puede utilizar válvulas tipo mariposa. En todos los casos, las anteriores válvulas deben ir acompañadas de

válvulas de cheque, con el fin de prevenir reversiones del flujo. Inmediatamente aguas abajo de la válvula, a la salida del tanque, se debe colocar una válvula tipo ventosa para permitir la entrada de aire en las tuberías de la red de distribución localizadas aguas abajo del tanque.

El diseño también debe asegurar que todos los tanques vayan acompañados por una válvula adicional pequeña, con propósitos de toma de muestras de agua con el fin de medir la calidad de ésta, en particular su turbiedad.

### 7.5.8 Medición de caudal

Los tanques de almacenamiento y/o compensación para EPM debe incluir la instalación de un medidor de caudal en la tubería de salida del tanque, con el fin de poder calcular los volúmenes de agua suministrados en forma diaria a la red de distribución de agua potable aguas abajo del tanque, así como las variaciones de caudales. En todos los casos EPM debe exigir la instalación de sistemas telemétricos y de telecomando que permitan conocer en tiempo real los caudales suministrados a la red de distribución de agua.

### 7.5.9 Sistema de drenaje

El diseño de los tanques de almacenamiento y compensación debe incluir un sistema de drenaje colocado por debajo del fondo, con el fin de captar las posibles fugas que se presenten. El sistema de drenaje de fondo debe descargar en una o más cámaras de recolección, en las cuales se puedan medir los caudales de fuga y estimar su localización, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. En el caso de tanques grandes, el sistema de drenaje de fondo debe ser subdividido en partes iguales, de tal forma que cada una de éstas tenga un área aferente máxima de 500 m<sup>2</sup>, descargando cada una en cámaras diferentes, con el fin de ayudar en la ubicación de las posibles fugas.
2. El agua proveniente del sistema de drenaje debe ser evacuada y entregada a

la tubería de descarga de fondo del tanque.

3. El sistema de drenaje debe estar conformado por filtros con espina de pescado, de por lo menos 200 mm de diámetro, con una caída mínima de 200 mm.
4. El diseño debe establecer el material de las tuberías que conforman el drenaje, pero debe tener en cuenta que en caso de sugerir tuberías metálicas por debajo del tanque, éstas deben contar con los medios de protección necesarios contra la corrosión a lo largo de toda la vida útil del proyecto.

## 7.6 OBRAS COMPLEMENTARIAS

### 7.6.1 Impermeabilización de los tanques

El diseño debe garantizar que tanto las paredes como el fondo de los tanques sean impermeables. El material utilizado para la impermeabilización debe, en todos los casos, ser resistente a ataques químicos y a corrosión inducida tanto por el agua como por posibles corrientes parásitas.

### 7.6.2 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 diseñador 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 de que el volumen del tanque sea inferior a 50 m<sup>3</sup>, el diseño debe asegurar que los ductos sean tubos verticales con dos codos de 90° conectados con un niple corto, de tal manera que formen una curva de 180°. 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.

### 7.6.3 Cubierta de los tanques

El diseño de las cubiertas de los tanques de almacenamiento y/o compensación debe asegurar que éstas sean impermeables, continuas y opacas. Adicionalmente el diseño debe incluir la instalación de una capa reflectora para evitar el calentamiento interior del tanque. Adicionalmente, deben cumplirse las siguientes disposiciones:

1. Para la cubierta de concreto debe instalarse algún material adicional impermeabilizante que se adhiera al material de la cubierta.
2. La cubierta de los tanques debe asegurar, en todas partes, una inclinación con una pendiente no inferior al 2%, con el fin de evitar el encharcamiento en su superficie.
3. En el caso de tanques grandes en concreto, el diseño puede incluir el uso de la cubierta para jardines, canchas deportivas, zonas de tránsito de peatones, u otros usos. En estos casos, el diseñador debe asegurar que la cubierta esté protegida con una capa de drenaje con escurrimiento natural debidamente protegida. Esta condición debe tenerse en cuenta para el diseño estructural de la cubierta.
4. Para tanques que no sean de concreto la cubierta deberá ser autoportante en aluminio.

### 7.6.4 Acceso al interior del tanque

El diseño debe incluir un sistema de acceso al interior del tanque, el cual debe contar por lo menos con una tapa con cierre hermético

ubicada sobre la cubierta del tanque. La dimensión mínima de este acceso es de 0.6 m de diámetro o aquella mayor que permita la entrada de los equipos de mantenimiento necesarios. Adicionalmente, el diseño debe garantizar que el acceso cuente con escaleras internas y externas, con materiales que no afecten la calidad del agua potable al interior del tanque. Se recomienda que el acceso se ubique por encima de equipos existentes en el tanque y cerca de las paredes de éste. En todos los casos, el acceso debe sobresalir por lo menos 0.05 m por encima de la cubierta.

En el caso de tanques metálicos, se pueden utilizar accesos laterales, los cuales deben estar diseñados también con cierre hermético.

### 7.6.5 Iluminación

El diseño debe asegurar que no exista entrada de luz natural al interior del tanque, salvo en las labores de observación, limpieza y mantenimiento de éste. En caso de que se requiera algún tipo de iluminación artificial, ésta debe estar incluida en el diseño y debe ser por medio de bombillos e instalaciones a prueba de humedad.

### 7.6.6 Señalización de tanques

En el caso de que el tanque objeto del diseño sea un tanque elevado, y que por su altura sobresalga sobre el resto de las edificaciones circundantes, éste debe contar con luces de señalización de obstáculo elevado, para advertir su presencia a las aeronaves, y se debe pintar de acuerdo con las normas establecidas por el Departamento Administrativo de la Aeronáutica Civil.

Todos los tanques que formen parte de los sistemas de distribución de agua potable operados por EPM ebe estar señalizados con la convención internacional que los identifique como objetivos no militares.

### 7.6.7 Sistemas telemétricos

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 el tanque. El diseño debe

establecer el tipo de instrumentos de medición, así como su precisión y frecuencia de toma de datos. También debe asegurar que sean compatibles con los sistemas SCADA establecidos por EPM.

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 aguas abajo.
2. Nivel de agua en el tanque.
3. Presión de agua en la tubería de entrada inmediatamente aguas arriba de la válvula de flujo anular.
4. Porcentaje de apertura de la válvula de flujo anular a la entrada al tanque.
5. Caudales de rebose.

#### 7.6.8 Escaleras

En el caso de 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 externas sean de aluminio o acero inoxidable y las internas en acero inoxidable.

#### 7.6.9 Cajas de Válvulas de entrada y de salida

Todas las válvulas deben estar colocadas dentro de cajas que deben construirse tan pronto el tanque de almacenamiento y/o compensación sea colocado y aceptado por EPM. Las cajas deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. Las cajas de válvulas deben ser de mampostería de ladrillo, o de concreto reforzado u otro material aprobado por EPM y deben 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 válvulas deben tener un sistema de drenaje dirigido al sistema de alcantarillado a uno de los cuerpos de agua del sistema de drenaje natural de los municipios atendidos por EPM.

4. La distancia entre el piso de la caja y la parte inferior del cuerpo de la válvula no debe ser inferior a 0.2 m. Ésta condición no debe tenerse en cuenta para el caso de ventosas.
5. En caso de 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 y con pasamanos. En el caso de 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.

#### 7.6.10 Cerramiento

Los cerramientos de las instalaciones, en donde se construya un tanque, deben diseñarse y construirse teniendo en cuenta lo establecido en el Capítulo 4 "Obras Varias", Especificaciones 408 y 409 del manual "Normas y Especificaciones Generales de Construcción" de EPM.

#### 7.6.11 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 y parqueaderos adecuados en la zona alrededor del tanque.

## 7.7 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 Numerales 7.7.1 a 7.7.5. 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 numerales anteriores.

### 7.7.1 Inspecciones preliminares a los tanques

Antes de iniciar las pruebas hidráulicas y de estanqueidad, se deben hacer las siguientes inspecciones preliminares a los diferentes elementos del tanque de almacenamiento y/o compensación:

1. En primer lugar debe observarse el aspecto general del tanque en sus paredes, fondo, impermeabilización y obras anexas.
2. Debe verificarse el correcto funcionamiento de las válvulas, accesorios de apertura y cierre de éstas, totalizadores de caudal, indicadores de nivel y alarmas, etc. En el caso específico de las válvulas debe medirse el tiempo de accionamiento, tanto local, como remoto, y corregir cualquier defecto que implique grandes esfuerzos en la operación de éstas.

### 7.7.2 Pruebas de estanqueidad

En el caso de que el tanque objeto del diseño esté hecho en concreto, se deben hacer las pruebas de estanqueidad establecidas en el Capítulo 5, Especificación 505, Numerales 4.3 y 4.4 de las Normas y Especificaciones Generales de Construcción de EPM, en la cual se establecen las especificaciones para llevar a cabo pruebas de estanqueidad en tanques de agua y se describe el proceso de prueba de los mismos.

En el caso de que el tanque esté hecho de otro material, se debe seguir lo establecido por la norma de construcción o los protocolos de prueba de estanqueidad suministrados por el fabricante.

### 7.7.3 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.

### 7.7.4 Pruebas de calidad del agua

Teniendo en cuenta lo establecido por el diseñador 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.

### 7.7.5 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 diseñador. En el caso de las pruebas hidráulicas en la red se debe seguir lo establecido en el Numeral 5.10.1 de esta norma. En el caso de las válvulas y las ventosas, debe seguirse lo establecido en el Numeral 5.10.4 de esta norma.

## 7.8 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO RELACIONADOS CON EL DISEÑO

### 7.8.1 Verificación de presiones

Durante toda la operación del tanque debe medirse en forma permanente, haciendo uso de los sistemas telemétricos, la presión inmediatamente aguas arriba de la válvula de flujo anular a la entrada al tanque.

### 7.8.2 Control de filtraciones

En el caso de los tanques de almacenamiento y/o compensación hechos en concreto reforzado, ya sean superficiales o semienterrados, susceptibles a filtraciones a través de las puntas de dilatación y construcción, se deben medir las filtraciones, las cuales no deben superar un caudal de 1 L/min por cada 5.000 m<sup>3</sup> de agua almacenada.

El control y la verificación de las filtraciones se deben hacer una vez cada tres meses, preferiblemente en épocas de verano.

### 7.8.3 Entrada de agua al tanque

Durante toda la operación de los tanques de almacenamiento y/o compensación de EPM se debe medir, a través de sistemas telemétricos, el caudal de entrada al tanque.

La entrada a los tanques debe cerrarse automáticamente ante una situación de nivel de agua en exceso, cuando se esté cerca de llegar al nivel de rebose. El sistema de alarmas de nivel debe prender una alarma cuando el nivel del tanque se encuentre 5 cm por debajo de la cota de rebose, haciendo uso de sistemas de control a distancia para el cierre de agua al tanque.

### 7.8.4 Calidad de agua en el tanque

Una vez que el tanque de almacenamiento y/o compensación se encuentre en operación y durante todo el período de vida útil del proyecto, debe verificarse la calidad de agua en éste, haciendo un muestreo diario tanto a la entrada como a la salida del tanque. Con respecto a la calidad del agua en el tanque, debe seguirse todo lo establecido en el Numeral 5.5.5 de esta norma.

### 7.8.5 Uso de tecnologías de información

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 circuitos y sub-circuitos.

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.

### 7.8.6 Aspectos ambientales en la etapa de Operación y Mantenimiento

Como son estructuras que hacen parte del paisaje urbano, su presentación y el mantenimiento de la zona donde se encuentran, deben permanecer agradables a la vista. Se recomienda tener en cuenta los siguientes impactos como mínimo:

- i. Perturbación de la comunidad debido a las actividades propias de limpieza y mantenimiento.
- ii. Problemas de rebose del tanque por descuido en su operación.
- iii. Ingreso de personas no autorizadas al área de operación del tanque por falta de delimitación.
- iv. Descuido en la presentación de la estructura y del área del tanque.

## 7.9 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO DE TANQUES RELACIONADOS CON EL DISEÑO

En general se debe seguir, para el mantenimiento de los tanques de almacenamiento y/o compensación, todo lo establecido en el Sistema de Gestión de Calidad de EPM, para lo cual el diseño debe garantizar la total aplicación de este documento.

Para aquellos municipios atendidos por las Empresas Públicas de Medellín que no sean parte del Sistema de Gestión de Calidad, el diseño debe tener en cuenta los aspectos

mostrados en los numerales 7.9.1 a 7.9.5. Igualmente, cuando dichos aspectos no se encuentren específicamente detallados para aquellos municipios que sí formen parte de dicho sistema, se recomienda la aplicación de dichos numerales.

### 7.9.1 Mantenimiento correctivo y preventivo

Todas las estructuras, válvulas y tuberías que formen parte de la obra de un tanque de almacenamiento y/o compensación deben tener programas de mantenimiento correctivo y preventivo de acuerdo con los siguientes requisitos:

1. Las labores de mantenimiento deben ser siempre de tipo preventivo. Para esto, el diseño debe considerar 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 forme parte del sistema de tanques, debe ser de tipo preventivo.

En el caso de que las labores de mantenimiento en un tanque impliquen la suspensión del servicio de abastecimiento de agua potable en la red de distribución inmediatamente aguas abajo de éste, EPM debe informar a la comunidad sobre los horarios y cortes programados en el suministro de agua. Para esto, el diseño debe establecer, haciendo uso de modelos hidráulicos de la red de distribución, aquellos clientes que van a ser afectados por la suspensión del servicio, o por bajas temporales en la presión del suministro de agua potable. De todas formas, el diseño debe considerar alternativas de abastecimiento de agua durante el mantenimiento de tanques, de tal forma que se minimice el número de clientes afectados en su distribución de agua potable.

### 7.9.2 Limpieza y desinfección de tanques

Las labores de limpieza de los tanques de almacenamiento no deben afectar ni las presiones ni el caudal entregado a la red de

distribución, ni influir en el servicio. Las labores de limpieza deben incluir la desinfección de las paredes y el piso con una solución de hipoclorito de sodio, con una concentración de 50 ppm de cloro. Los tanques que forman parte de los sistemas de distribución de agua potable de las Empresas Públicas de Medellín deben limpiarse de acuerdo a la normatividad vigente.

### **7.9.3 Impermeabilización de los tanques**

Durante las labores de operación de los tanques de almacenamiento y/o compensación en que se detecten filtraciones mayores que las mínimas permisibles, tal como se establece en el Numeral 7.8.2 de estas normas, debe procederse a la impermeabilización de todo el tanque con productos autorizados por el Ministerio de Protección Social y por EPM. 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.

### **7.9.4 Mantenimiento de accesorios**

Para el caso de aquellos accesorios que formen parte de los tanques de almacenamiento y/o compensación, se requieren las siguientes labores de mantenimiento: En el caso de las válvulas de orificio, localizadas a la entrada de los tanques, debe verificarse su estado, su ecuación de calibración, y sus mecanismos de operación y de medición de presiones al menos una vez

cada mes. En forma similar, se deben verificar el estado de las válvulas a la salida del tanque y las válvulas de descarga de fondo para vaciado del tanque. 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.

### **7.9.5 Uso de tecnologías de información para las labores de mantenimiento**

Las operaciones de mantenimiento de los tanques de almacenamiento y/o compensación se deben apoyar en el modelo hidráulico calibrado de la red de distribución de agua potable localizada aguas abajo de éstos, y de aquellas redes de circuitos o sub-circuitos adyacentes desde los cuales se pueda realizar el abastecimiento de agua durante las labores de mantenimiento. El modelo sirve para dimensionar el impacto de las acciones de mantenimiento sobre el suministro de agua. El objetivo de la modelación es establecer aquellos clientes que se pueden ver afectados por las labores de mantenimiento, en particular aquellos que quedarán sin servicio de agua potable y aquellos que durante dichas labores van a presentar disminución en las presiones normales de operación de la red.

## Capítulo 8 ASPECTOS AMBIENTALES

### 8.1 ALCANCE

Este capítulo presenta los requisitos mínimos, desde el punto de vista ambiental que se deben cumplir como parte del diseño de sistemas de acueducto desarrollados por EPM, con el fin de dar un adecuado manejo a los impactos que se generen durante el desarrollo de las actividades del diseño, construcción y operación del proyecto.

Se recomienda a los urbanizadores seguir todos los pasos descritos en este capítulo, como mínimo deben cumplir con todo lo estipulado en el Numeral 8.6.

### 8.2 IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES QUE PUEDEN GENERAR IMPACTOS AMBIENTALES.

Se deben identificar las actividades que durante el diseño, construcción y operación del proyecto tendrán alguna relación con el ambiente y que por lo tanto podrían generar algún impacto adverso o benéfico.

Para determinar si la actividad analizada puede generar impactos, pueden hacerse preguntas que permitan identificar si ésta tiene alguna interacción con el ambiente, como: ¿Se requiere para su realización el consumo de sustancias químicas u otros insumos? ¿Se consume agua y/o energía? ¿Se generan residuos? ¿Se generan vertimientos?, entre otras.

### 8.3 CARACTERIZACIÓN DEL AMBIENTE

El diseñador debe realizar un reconocimiento del entorno en el que se desarrollará el proyecto. Deberá identificar y caracterizar los componentes ambientales, bióticos, abióticos y sociales que se verán afectados por la realización de las obras y su posterior

operación. En la Tabla 8-1 se enumeran algunos ejemplos de estos componentes.

**Tabla 8-1 Ejemplos de componentes ambientales que pueden ser afectados**

Sistema	Componente
Biótico	Flora
	Fauna
Abiótico	Agua
	Aire
	Suelo
	Paisaje
Social	Actividades económicas
	Espacio público
	Patrimonio cultural
	Patrimonio arqueológico
	Componente demográfico

De acuerdo con lo anterior, se debe revisar por ejemplo, la información existente sobre la calidad de las fuentes hídricas, calidad del aire, estado de la flora y la fauna, usos del suelo, características de las comunidades vecinas y demás, dependiendo de las interacciones que las actividades tengan con el ambiente.

### 8.4 IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES QUE SE GENERARÁN

Para la identificación y valoración de los aspectos e impactos ambientales se puede emplear cualquier metodología existente. En el caso de los diseños contratados directamente por EPM, se debe emplear la metodología que el contratante sugiera.

Un aspecto ambiental es un **elemento de las actividades, productos o servicios** de una organización, que puede interactuar con el medio ambiente. A éste pueden asociarse uno o varios impactos ambientales. Un aspecto ambiental relevante es aquel que tiene o puede tener un impacto ambiental significativo asociado.<sup>13</sup>

La identificación de los aspectos ambientales debe considerar las condiciones de operación

<sup>13</sup> Tomado de la norma ISO 14000 versión 2004.

normales y anormales, igual que cualquier situación razonablemente previsible de emergencia.

Se considera impacto ambiental cualquier cambio en el entorno, adverso o benéfico, resultante total o parcialmente de las actividades, productos o servicios de una organización<sup>14</sup>.

Un impacto es consecuencia de la existencia de un aspecto ambiental. Algunos ejemplos se muestran en la Tabla 8-2.

**Tabla 8-2. Ejemplos impactos ambientales**

<i>Aspecto ambiental</i>	<i>Impacto ambiental</i>
Vertimiento	Contaminación del agua
	Deterioro del paisaje
	Mejoramiento de las condiciones de las cuencas receptoras.
Emisión de material particulado	Contaminación del aire
	Incremento de molestias en la comunidad

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta una guía de los aspectos e impactos ambientales que pueden presentarse debido a las actividades realizadas durante el diseño, construcción y operación de un sistema de acueducto.

Teniendo en cuenta las actividades que pueden generar impactos y la caracterización del ambiente, se deben identificar los aspectos e impactos ambientales, (negativos y positivos), que puedan presentarse durante las etapas de diseño, construcción y operación.

A cada aspecto ambiental se asocian uno o más impactos ambientales, teniendo en cuenta las afectaciones (negativas y benéficas) que puede generar la acción o tarea analizada sobre los diferentes componentes ambientales.

La valoración de los impactos, permite priorizar las acciones que deben ejecutarse con el fin de darles un adecuado manejo.

Los parámetros que se tienen en cuenta para esta valoración dependen de la metodología que se aplique. El resultado es la significancia del impacto, lo cual permite priorizar y definir las medidas de manejo adecuadas, que pueden ser, entre otras: programas, controles operacionales, capacitaciones y sensibilizaciones.

## 8.5 DEFINICIÓN DE MEDIDAS DE MANEJO

Para aquellos impactos que se consideren significativos, se deberán definir las medidas de prevención, mitigación, compensación, corrección o potenciación que se consideren adecuadas.

Parte de estas medidas de manejo se encuentran incluidas en la especificación particular 1300 A1, o la guía que la sustituya.

El diseñador deberá realizar una cuantificación preliminar de los costos de la implementación de las medidas de manejo.

## 8.6 CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE

Se debe cumplir con toda la normatividad ambiental vigente existente, teniendo en cuenta el trámite de los permisos ambientales correspondientes. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta un listado de los permisos y autorizaciones que comúnmente deben tramitarse en este tipo de proyectos.

<sup>14</sup> Tomado de la norma ISO 14000 versión 2004.

**Tabla 8-3. Permisos y autorizaciones ambientales que deben tramitarse.**

Aspecto Ambiental	Trámite	Entidad ante la que se tramita
Intervención de cuencas	Permiso de ocupación de cauce	Autoridad ambiental
	Concesión	
Intervención de acuíferos	Permiso de prospección y exploración de agua subterránea	Autoridad ambiental
	Concesión	
Vertimiento	Permiso de vertimientos	Autoridad ambiental
Intervención de flora	Permiso de aprovechamiento forestal	Autoridad ambiental
Ocupación del espacio público	Permiso de ocupación del espacio público	Secretaría de gobierno
	Plan de manejo de tránsito	Secretaría de movilidad
Vibraciones	Permiso de rotura de pavimentos	Secretaría de infraestructura
Emisión de ruido	Permiso de emisión de ruido nocturno y en días feriados	Inspección de policía
Licencia de construcción	Licencia de construcción	Planeación municipal o curaduría.

## 8.7 INSTRUMENTOS LEGALES DE CONTROL TERRITORIAL Y AMBIENTAL

La Ley 388 de 1997 y la Ley 99 de 1993 disponen de una serie de instrumentos y procedimientos legales que se deben tener en cuenta en cualquier obra o actividad.

### 8.7.1 Plan de Ordenamiento Territorial

Para el diseño de sistemas de acueducto, se debe tener en cuenta el Plan de Ordenamiento Territorial, en los términos del Capítulo III de la Ley 388 de 1997.

Esta Ley establece que, con el fin de evitar la existencia de zonas urbanas sin posibilidad de cobertura de servicios públicos domiciliarios, a

partir de su promulgación, el perímetro urbano municipal no puede ser mayor que el denominado perímetro de servicios.

### 8.7.2 Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV.

Para el diseño de sistemas de acueducto el diseñador deberá tener en cuenta el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, del lugar donde se ejecute el proyecto. Se define éste, como “ el conjunto de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos, incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de acueducto, tanto sanitario como pluvial, los cuales deberán estar articulados con los objetivos y metas de calidad y uso que defina la autoridad ambiental competente para la corriente, tramo o cuerpo de agua”. Lo anterior de acuerdo con el Decreto 2667 de diciembre 21 de 2012 y la Resolución 1433 de 13/12/2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o de aquellos que lo remplacen o modifiquen.

### 8.7.3 Instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos

En el diseño de los sistemas de acueducto, se debe tener en cuenta lo establecido en los instrumentos de planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, establecidos en el Decreto 1640 de 2012 o la norma que lo sustituya.

Estos instrumentos son:

1. Planes Estratégicos, en las Áreas Hidrográficas o Macrocuencas.
2. Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, en las Zonas Hidrográficas.
3. Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, en Subzonas Hidrográficas o su nivel subsiguiente.

4. Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas, en las cuencas de nivel inferior al del nivel subsiguiente de la Subzona Hidrográfica.
5. Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos

#### 8.7.4 Planes de ordenamiento del recurso hídrico –PORH-

En el diseño de los sistemas de acueducto, se debe tener en cuenta lo establecido por la autoridad competente para la ordenación del recurso hídrico, de acuerdo a lo dispuesto en el Decreto 3930 de 2010.

*Entiéndase como Ordenamiento del Recurso Hídrico, el proceso de planificación del mismo, mediante el cual la autoridad ambiental competente:*

1. *Establece la clasificación de las aguas.*
2. *Fija su destinación y sus posibilidades de uso, con fundamento en la priorización definida para tales efectos en el artículo 41 del Decreto 1541 de 1978.*
3. *Define los objetivos de calidad a alcanzar en el corto, mediano y largo plazo.*
4. *Establece las normas de preservación de la calidad del recurso para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies.*
5. *Determina los casos en que deba prohibirse el desarrollo de actividades como la pesca, el deporte y otras similares, en toda la fuente o en sectores de ella, de manera temporal o definitiva.*
6. *Fija las zonas en las que se prohibirá o condicionará, la descarga de aguas residuales o residuos líquidos o gaseosos, provenientes de fuentes industriales o domésticas, urbanas o rurales, en las aguas superficiales, subterráneas, o marinas.*
7. *Establece el programa de seguimiento al recurso hídrico con el fin de verificar la eficiencia y efectividad del ordenamiento del recurso.*

#### 8.7.5 Zonas de interés arqueológico

Deberá tenerse en cuenta lo establecido por la Ley 397 de 1997 (modificada por la Ley 1185 de 2008), en cuanto a los planes de manejo arqueológico y las autorizaciones que deben solicitarse para la intervención de bienes de interés cultural.

Igualmente deberá cumplirse con el Decreto 833 de 2002, para lo cual debe establecerse, desde el diseño del proyecto de acueducto, un procedimiento a seguir en caso de encontrar durante la ejecución de las obras hallazgos arqueológicos.

Se recomienda que para evitar retrasos durante la etapa de construcción, se realice un estudio arqueológico que permita prever retrasos en las obras, debido a posibles hallazgos y a la aplicación de las medidas que para su rescate, determinen el Ministerio de Cultura y el Instituto Colombiano de Arqueología e Historia.

**Tabla 8-4** Guía de aspectos e impactos ambientales que pueden presentarse durante el diseño, construcción y operación de un sistema de acueducto.

Tema	Aspecto ambiental	Descripción aspecto	Impactos ambientales asociados
Agua	Vertimiento	Se refiere a la descarga de cualquier tipo de agua residual en una fuente de agua	Contaminación del agua Afectación del paisaje Deterioro del ecosistema natural Molestias en la comunidad Mejoramiento de las condiciones de las cuencas receptoras
	Intervención de cuencas	Se refiere a la alteración de las condiciones de cualquier cuenca y cuerpo de agua. Puede generarse a partir de la intervención a nacimientos, zonas de recarga, rondas de protección, la ocupación del cauce de una corriente, la afectación del caudal, la desviación, derivación o captación de caudales, la introducción de cambios en el drenaje natural, el aumento del transporte de sedimentos	Modificación de la dinámica de fuentes hídricas Disminución del riesgo de inundaciones Deterioro del ecosistema natural Disminución de la disponibilidad de agua Generación de conflictos por uso del agua Mejoramiento de las condiciones de las cuencas captadas
Aire	Emisión de gases contaminantes	Se refiere a la emisión de gases contaminantes (CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , SF <sub>6</sub> , CFC, CH <sub>4</sub> y demás), que pueden provenir de actividades como el transporte, la operación de plantas de emergencia, la operación de equipos que utilicen combustibles.	Contaminación del aire Daños a la salud de la población
	Emisión de ruido	Se refiere a la emisión de ruido debido a la operación de equipos y maquinaria, perceptible por fuera de las instalaciones o proyecto.	Molestias en la comunidad Daños a la salud de la población
	Emisión de material particulado	Se refiere a la emisión de material particulado al ambiente, el cual puede provenir de la operación de equipos, vehículos o maquinaria; del almacenamiento de materiales, de actividades relacionadas con la construcción de obras civiles y demás.	Contaminación del aire Daños a la salud de la población Molestias en la comunidad
	Generación de olores ofensivos	Se refiere a la generación de olores que causen molestias en la comunidad, los cuales pueden provenir de la operación de plantas de tratamiento, del mantenimiento de redes de alcantarillado, de las fugas en dichas redes y demás.	Molestias en la comunidad
Residuos	Generación de residuos	Se refiere a la generación de residuos de cualquier tipo (especiales, ordinarios, biodegradables y peligrosos)	Aumento de la cantidad de residuos a manejar

Tema	Aspecto ambiental	Descripción aspecto	Impactos ambientales asociados
	Generación de lodos	Se refiere a la generación de lodos en plantas de potabilización	Aumento de la cantidad de residuos a manejar
<b>Flora</b>	Intervención de flora	Comprende la modificación (siembra, poda, tala, trasplante, remoción de pastos, maleza, rastrojo, individuos arbóreos y demás. También se relaciona con la remoción de malezas en los embalses.	Pérdida de la cobertura vegetal
			Afectación del paisaje
			Mejora de la calidad del paisaje
			Contaminación del agua
			Deterioro del ecosistema natural
			Disminución en la probabilidad de daños en la infraestructura
<b>Suelo</b>	Intervención en la estructura y composición del suelo	Se refiere a la modificación de las características del suelo (permeabilidad, textura, estructura, composición química, compactación, fertilidad, drenaje interno, flujos superficiales, subsuperficiales y nivel freático). Esto puede ser ocasionado por roturas, excavaciones, voladuras y demás.	Desestabilización de suelos
			Contaminación del agua
	Vibraciones	Relacionadas con voladuras, demoliciones, roturas de pavimento, excavaciones y demás.	Daños en bienes públicos y/o privados
<b>Paisaje</b>	Intervención del paisaje	Hace alusión a la introducción de elementos artificiales, vallas publicitarias, obstáculos, y otros elementos ajenos que perturban las condiciones existentes en la zona y modifican el paisaje natural o artificial.  También se relaciona con las condiciones de orden y aseo que puedan alterar este componente ambiental.	Molestias en la comunidad
			Daños en bienes públicos y/o privados
			Mejora en la calidad del paisaje
			Afectación del paisaje
			Molestias en la comunidad
<b>Social</b>	Generación de empleo	Se refiere a las contrataciones de personal que se realizan para la ejecución de obras o actividades	Generación de expectativas en grupos de interés
	Generación de cultura ambiental	Se relaciona con todas aquellas actividades que impliquen capacitaciones y/o sensibilizaciones ambientales dirigidas a los diferentes grupos de interés: proveedores, contratistas, comunidad, servidores	Mejora en las condiciones económicas en grupos de interés
	Adquisición y/o negociación de predios y servidumbres	Se refiere a la modificación total o parcial de predios, casas, edificaciones, públicos y/o privados, para lo cual puede necesario la compra de bienes, la negociación de servidumbres y demás.	Aumento de prácticas de conservación del medio ambiente
			Generación de expectativas en grupos de interés
			Desplazamientos de la comunidad
			Cambio en las costumbres de la comunidad

Tema	Aspecto ambiental	Descripción aspecto	Impactos ambientales asociados
	Intervención sobre el patrimonio cultural	Se refiere a los cambios que se generan en la cotidianidad de los habitantes de una comunidad, en sus valores y tradiciones, en los patrones de consumo, en sus referentes históricos y culturales, en su sentido de pertenencia, cohesión social y demás.	Cambio en las costumbres de la comunidad
	Intervención sobre el patrimonio arqueológico	Se refiere a la intervención en yacimientos, zonas o lugares con valor arqueológico.	Aumento del conocimiento de la historia de los pobladores de la región Pérdida del conocimiento de la historia de los pobladores de la región
	Generación de nuevo conocimiento	Se refiere a los resultados de estudios en los cuales se producen nuevas tecnologías, se implementan nueva metodologías, se estudia un componente ambiental específico en zonas antes no estudiadas, se evalúa el impactos de un subproducto sobre el medio y ambiente y demás.	Implementación de nuevas prácticas y metodologías que contribuyen al mejoramiento ambiental. Aumento del conocimiento en un tema específico
	Ocupación del espacio público	Se refiere a la utilización transitoria del espacio público para colocar los implementos de trabajo (maquinaria, equipos y elementos de construcción) o ejecutar labores propias de la construcción o mantenimiento.	Afectación a la movilidad vehicular y/o peatonal Afectación temporal de actividades económicas Molestias en la comunidad Aumento del riesgo de accidentalidad
	Modificación del uso del suelo	Se refiere a la intervención en la destinación del suelo para actividades específicas	Afectación a actividades económicas o comerciales Desplazamientos de la comunidad
	Suspensión de la prestación de servicios públicos domiciliarios	Se refiere a la suspensión en los servicios públicos domiciliarios debido a la construcción de obras o a labores de mantenimiento	Molestias en la comunidad
	<b>Consumos</b>	Consumo de agua	Se refiere al consumo de agua para el desarrollo de las diferentes actividades de un proceso
Recirculación o reutilización de agua		Se refiere al aprovechamiento, en otra actividad del proceso o en la misma, del agua que ya ha sido utilizada en una actividad y que cumple con las condiciones de calidad. Disminuyendo así la demanda de agua. Ejemplo: Recirculación de agua empleada en el lavado de filtros en el proceso de potabilización, re-utilización de agua para el lavado de herramientas.	Disminución de la presión sobre los recursos naturales

Tema	Aspecto ambiental	Descripción aspecto	Impactos ambientales asociados
	Consumo de energía	Comprende el empleo de fuentes primarias de energía como carbón, diesel, gasolina, gas, o cualquier otro energético, así como el empleo de fuentes intermedias como la energía eléctrica, utilizado tanto en fuentes fijas (como plantas de emergencia, maquinaria y equipos fijos) como móviles (vehículos, maquinaria y equipos móviles).	Aumento de la presión sobre los recursos naturales
	Aprovechamiento de energía	Se refiere a la generación y aprovechamiento de energía obtenida a partir de subproductos o actividades de procesos no destinados para este fin. Ejemplo: Aprovechamiento de energía hidráulica en las micro centrales, generación de energía a partir de biogás en las PTAR.	Disminución de la presión sobre los recursos naturales
	Consumo de materiales e insumos	Se refiere al consumo de cualquier material o insumo para el desarrollo de los procesos. Ejemplos: papel, trapos, estopas, sustancias absorbentes, cartuchos de impresora, madera, sustancias químicas (pinturas, grasas, aceites, lubricantes, etc.), refrigerantes, entre otros, así como sus empaques, embalajes y envases	Aumento de la presión sobre los recursos naturales
	Consumo de materiales pétreos	Consumo de agregados y materiales pétreos (arcillas, limos, arenas, gravas y fragmentos de roca) para la construcción.	Aumento de la presión sobre los recursos naturales
<b>Riesgos</b>	Posible derrame, fuga, incendio o explosión causado por sustancias químicas o residuos peligrosos	Se refiere a derrames, fugas, incendios o explosiones accidentales causadas durante el almacenamiento, transporte o manipulación de sustancias químicas o residuos peligrosos.	Contaminación del aire Contaminación del suelo Contaminación del agua Contaminación del agua, aire, suelo Daños en bienes públicos y/o privados Deterioro del ecosistema natural Riesgos de afectación a la salud o la vida de la población
	Posible fuga de agua por fallas de infraestructura	Se refiere a las fugas que puedan presentarse debido a fallas en la infraestructura de acueducto y saneamiento (redes de acueducto y alcantarillado, tanques de almacenamiento, plantas de potabilización y de tratamiento)	Daños en bienes públicos y/o privados Aumento de la presión sobre los recursos naturales Riesgos de afectación a la salud o la vida de la población Contaminación del agua Contaminación del suelo

## Capítulo 9 *INTERVENTORÍA*

### 9.1 *ALCANCE*

En este capítulo se establecen los criterios básicos y requisitos mínimos que debe cumplir la Interventoría durante las actividades de diseño, para los proyectos de acueducto de EPM. La Interventoría debe velar por el cumplimiento en la ejecución de las obras y atender lo establecido en la Resolución 1096 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico en su artículo 52 “Interventoría” o el que lo remplace.

El alcance de la revisión, interventoría o supervisión que se realice durante la etapa de diseño, no exime al diseñador de la responsabilidad que le asiste, de acuerdo con la Ley, por los criterios y decisiones adoptadas en el desarrollo de los proyectos.

### 9.2 *PERSONAL DE LA INTERVENTORÍA*

El proceso de interventoría debe ser realizado por profesionales idóneos, los cuales deben cumplir con los requisitos mínimos especificados en el Numeral 2.5 de esta norma.

La interventoría puede ser realizada por personas naturales y/o jurídicas, siempre que los profesionales que ejerzan tales funciones, cumplan con lo señalado en el párrafo anterior.

### 9.3 *INTERVENTORÍA DE DISEÑO*

Las actividades de la Interventoría de Diseño incluyen la verificación de metodologías, cálculos y protocolos de prueba para los elementos, estructuras y accesorios que conforman el sistema de acueducto. Los proyectos de sistemas de acueducto deben cumplir con los requisitos de diseño establecidos en esta norma para ser aprobados por la Interventoría, y poder iniciar el proceso de construcción.

EPM debe verificar la ejecución administrativa y técnica de las consultorías de diseño, por medio de un interventor o un equipo Interventor, el cual, debe hacer un seguimiento de los Planes de

Gestión de la Calidad del diseñador, cuando estos sean exigidos en los proyectos contratados por EPM y una inspección de los diseños, que incluye la verificación de los parámetros, metodologías y demás elementos que contempla el diseño de los sistemas de acueducto.

#### 9.3.1 *Funciones principales de la Interventoría de Diseño*

Las principales funciones de la Interventoría de Diseño para los proyectos de sistemas de acueducto para EPM son las siguientes:

- Verificar que los diseños y especificaciones definitivas cumplan con todo lo establecido en la presente norma y en la legislación vigente.
- Velar porque los diseños se realicen de acuerdo con lo establecido en los pliegos de condiciones y las especificaciones particulares que se tengan, en caso que los diseños sean producto de una contratación.
- Verificar que los informes y planos presentados por el diseñador contengan la información necesaria que permitan una correcta interpretación durante la etapa de construcción, cumpliendo con lo establecido en el Numeral 2.3 de esta norma.
- Verificar que, de acuerdo con la información presentada por el diseñador, la experiencia de los profesionales que elaboren los diseños, cumpla con los requerimientos establecidos en la presente norma.
- Efectuar la inspección de los trabajos de diseño con el fin de identificar posibles no conformidades que puedan afectar el alcance del objeto del proyecto.
- Ordenar que se corrijan los trabajos de diseño que se detecten defectuosos y realizar la inspección de los mismos.

- Si el diseño es producto de una contratación, la Interventoría es responsable de aplicar las sanciones a que hubiere lugar y que estén estipuladas en los pliegos de condiciones y especificaciones de la contratación.

### **9.3.2 Verificación de protocolos de pruebas**

La Interventoría de Diseño debe verificar que el diseñador entregue el protocolo de pruebas de diseño, cumpliendo con lo establecido en el numeral 5.5.9 de esta norma de diseño.

## TEMAS TRANSITORIOS ACUEDUCTO

Los siguientes numerales de las “NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ACUEDUCTO Y DE ALCANTARILLADO Y DE VERTIMIENTOS INDUSTRIALES DE EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN E.S.P.” requieren de la implementación de una serie de aspectos dentro de la Dirección de Aguas, razón por la cual entrarán a regir a partir del 1 de julio de 2015.

4.2.7 Calidad de agua

4.3.6 Control de crecimiento y desprendimiento de biopelículas

4.3.7 Lavado para remoción de biopelículas

4.4.4 Calidad de agua en la red de conducción

4.5.4 Calidad del agua

4.9.7 Calidad de agua en las conducciones

5.2.1 Concepción del proyecto (calidad de agua)

5.2.8 Calidad del agua.

5.3.9 Control de crecimiento y desprendimiento de biopelículas

5.3.10 Lavado para remoción de biopelículas

5.4.4 Calidad del agua en la red de distribución.

5.4.10 Velocidades para remoción de biopelículas

5.5.1 Diseño hidráulico de las redes de distribución (numeral 1. Lavado de redes)

5.5.5 Calidad de agua

5.5.8 Comprobación de diseño bajo diferentes condiciones de operación

5.11.3 Golpe de ariete.