

**REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE
AGUA POTABLE Y
SANEAMIENTO BASICO
RAS - 2000**

SECCION II

TÍTULO B

SISTEMAS DE ACUEDUCTO



República de Colombia
Ministerio de Desarrollo Económico
Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico

BOGOTA D.C., NOVIEMBRE DE 2.000

INTRODUCCIÓN

La Dirección General de Agua Potable y Saneamiento Básico del Ministerio de Desarrollo Económico entrega al país esta primera actualización de los títulos B-Sistemas de Acueducto, C-Sistemas de Potabilización, D-Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales, E-Tratamiento de aguas residuales, F-Aseo Urbano y G-Aspectos complementarios; fruto del análisis de un grupo de profesionales que participaron en los comités de la Junta Técnica Asesora del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS. Cada uno de estos títulos es un Manual de prácticas de buena Ingeniería que recoge el interés general del sector por lograr un acercamiento a las condiciones reales del país, estableciendo los criterios y recomendaciones para el diseño, construcción, supervisión técnica, interventoría, operación y mantenimiento propios de los sistemas de Agua potable y Saneamiento básico

Al inicio de cada uno de estos títulos se presenta un listado con el código y la descripción breve del contenido de las Normas Técnicas Colombianas e Internacionales de los productos terminados, de los ensayos de control de calidad y en general de los procedimientos propios de la ingeniería sectorial relacionada con los temas allí tratados. En esta segunda edición se conserva el mismo contenido, estructura y ordenamiento de temas del RAS-98. Sin embargo, aquellos párrafos que incluyen cambios, están identificados por una doble línea en la margen izquierda para facilitar su identificación y actualización, mediante el cambio de hojas a partir de esa edición. Los textos explicativos aparecen en letra cursiva dentro de un recuadro y solo se incluyen a manera de información.

El contratista, o la entidad ejecutora, o la entidad contratante a través de su interventoría, o en general cualquier organismo que tenga jurisdicción legal sobre las instalaciones de Agua potable y Saneamiento básico, pueden utilizar estos manuales para dar cumplimiento a su cometido y podrán utilizarlos, si así lo consideran, como mandatorios en sus procesos de contratación con terceros.

La Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico seguirá trabajando para crear conciencia entre las autoridades municipales, diseñadores, constructores y operadores acerca de los requisitos de calidad en los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, utilizando diseños, materiales, productos y mano de obra de primera calidad para garantizarle a los usuarios finales, un excelente servicio.

Cordialmente,

CARMIÑA MORENO R.

Directora General de Agua Potable y Saneamiento Básico

Noviembre de 2000

ÍNDICE

B.0. REFERENCIACIÓN GENERAL	13
B.0.1 SISTEMA DE UNIDADES	13
B.0.2 VARIABLES	13
B.0.3 ABREVIATURAS	15
B.0.4 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS	16
B.0.4.1 NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS	16
B.0.4.2 NORMAS TÉCNICAS AWWA	17
B.0.4.3 NORMAS TÉCNICAS ASTM	19
B.0.4.4 NORMAS TÉCNICAS DIN	20
B.0.5 LEYES, DECRETOS Y LEGISLACIÓN PERTINENTE	20
B.1. ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO	21
B.1.1 ALCANCE	21
B.1.2 DEFINICIONES	21
B.1.3 PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO	26
B.1.3.1 PASO 1 - Definición del nivel de complejidad del sistema	26
B.1.3.2 PASO 2 - Justificación del proyecto y definición del alcance	26
B.1.3.3 PASO 3 - Conocimiento del marco institucional	27
B.1.3.4 PASO 4 - Acciones legales	27
B.1.3.5 PASO 5 - Aspectos ambientales	27
B.1.3.6 PASO 6 - Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previstos	27
B.1.3.7 PASO 7 - Estudios de factibilidad y estudios previos	28
B.1.3.8 PASO 8 - Diseño y requerimientos técnicos	28
B.1.3.9 PASO 9 - Construcción e interventoría	28
B.1.3.10 PASO 10 - Puesta en marcha, operación y mantenimiento	28
B.2. POBLACIÓN, DOTACIÓN Y DEMANDA	29
B.2.1 ALCANCE	29
B.2.2 ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN	29
B.2.2.1 Censos	29
B.2.2.2 Censos de vivienda	29
B.2.2.3 Densidades actuales y futuras	29
B.2.2.4 Métodos de cálculo	30
B.2.2.5 Ajuste por población flotante y población migratoria	32
B.2.2.6 Etnias minoritarias	32
B.2.3 USOS DEL AGUA	32
B.2.3.1 Uso residencial	32
B.2.3.2 Uso comercial	32

B.2.3.3	Uso industrial	33
B.2.3.4	Uso rural	33
B.2.3.5	Uso para fines públicos	33
B.2.3.6	Uso escolar	33
B.2.3.7	Uso institucional	33
B.2.4	DOTACIÓN NETA	33
B.2.4.1	Dotación neta mínima y máxima	33
B.2.4.2	Estimación de la dotación neta según registros históricos	34
B.2.4.3	Estimación de la dotación neta por comparación con poblaciones similares	34
B.2.4.4	Correcciones a la dotación neta	35
B.2.5	PÉRDIDAS	35
B.2.5.1	Pérdidas en la aducción (agua cruda)	35
B.2.5.2	Necesidades de la planta de tratamiento	36
B.2.5.3	Pérdidas en la conducción (agua tratada)	36
B.2.5.4	Pérdidas técnicas en el sistema de acueducto	36
B.2.5.5	Pérdidas comerciales	36
B.2.6	DOTACIÓN BRUTA	36
B.2.7	DEMANDA	37
B.2.7.1	Caudal medio diario	37
B.2.7.2	Caudal máximo diario	37
B.2.7.3	Caudal máximo horario	37
B.2.7.4	Coefficiente de consumo máximo diario - k_1	37
B.2.7.5	Coefficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario - k_2	38
B.2.7.6	Gran consumidor	38
	Curva de variación horaria de la demanda	38
B.2.8	CAUDAL DE INCENDIOS	38
B.2.8.1	Demanda mínima contra incendios para los niveles bajo y medio de complejidad	38
B.2.8.2	Demandas mínimas contra incendios para los niveles medio alto y alto de complejidad	39
B.3.	FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	41
B.3.1	ALCANCE	41
B.3.2	CONSIDERACIONES GENERALES	41
B.3.3	FUENTES SUPERFICIALES	41
B.3.3.1	Estudios previos	41
B.3.3.2	Características de la fuente	43
B.3.3.3	Aspectos adicionales	47
B.3.4	FUENTES SUBTERRÁNEAS	48
B.3.4.2	Características de la fuente	49
B.3.4.3	Aspectos adicionales	50
B.4.	CAPTACIONES DE AGUA SUPERFICIAL	51
B.4.1	ALCANCE	51

B.4.2	ESTUDIOS PREVIOS	51
B.4.2.1	Concepción del proyecto	51
B.4.2.2	Estudio de la demanda	52
B.4.2.3	Aspectos generales de la zona	52
B.4.2.4	Estudios topográficos	52
B.4.2.5	Condiciones geológicas	52
B.4.2.6	Estudios hidrológicos	52
B.4.3	CONDICIONES GENERALES	52
B.4.3.1	Tipos de captaciones	52
B.4.3.2	Ubicación de la captación	53
B.4.3.3	Seguridad	53
B.4.3.4	Estabilidad	54
B.4.3.5	Análisis de costo mínimo	54
B.4.3.6	Facilidad de operación y mantenimiento	54
B.4.3.7	Lejanía de toda fuente de contaminación	54
B.4.3.8	Aprovechamiento de la infraestructura existente	54
B.4.3.9	Interferencia a la navegación	54
B.4.3.10	Desviación de cursos	54
B.4.3.11	Accesos	55
B.4.3.12	Cerramientos	55
B.4.3.13	Iluminación	55
B.4.3.14	Vulnerabilidad y confiabilidad	55
B.4.4	PARÁMETROS DE DISEÑO	55
B.4.4.1	Período de diseño	55
B.4.4.2	Capacidad de diseño	55
B.4.4.3	Canales de aducción	56
B.4.4.4	Filtros de toma	57
B.4.4.5	Rejillas	57
B.4.4.6	Desarenadores	59
B.4.4.7	Aspectos particulares de las captaciones laterales	61
B.4.4.8	Aspectos particulares de las captaciones sumergidas	61
B.4.4.9	Aspectos particulares de las captaciones flotantes y las captaciones móviles con elevación mecánica	62
B.4.4.10	Aspectos particulares de las captaciones de rejilla.	63
B.4.4.11	Aspectos particulares de las captaciones con presas derivadoras	64
B.4.4.12	Aspectos particulares de las captaciones en toma directa.	64
B.4.4.13	Aspectos particulares de las captaciones con muelles de toma	65
B.4.4.14	Embalses	65
B.4.4.15	Presas	66
B.4.4.16	Vertederos de excesos	66
B.4.4.17	Acondicionamiento de la cuenca que aporta al embalse	67
B.4.4.18	Aspectos particulares de otras captaciones	67
B.4.5	ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA	68
B.4.5.1	Canales	68
B.4.5.2	Rejillas	68
B.4.5.3	Desarenadores	69
B.4.6	ASPECTOS DE LA OPERACIÓN	69
B.4.6.1	Caudal	69
B.4.6.2	Calidad del agua	69
B.4.6.3	Canales	69
B.4.6.4	Rejillas	70

B.4.6.5	Desarenadores	70
B.4.7	ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO	70
B.4.7.1	Mantenimiento y limpieza	70
B.4.7.2	Mantenimiento correctivo y preventivo	71
B.4.7.3	Control de sedimentos	71
B.4.7.4	Dragado de canales	71
B.4.7.5	Lavado y limpieza de las estructuras de la obra de captación	71
B.5.	CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA	73
B.5.1	ALCANCE	73
B.5.2	ESTUDIOS PREVIOS	73
B.5.2.1	Concepción del proyecto	73
B.5.2.2	Análisis de costo mínimo	73
B.5.2.3	Estudio de la demanda	73
B.5.2.4	Aspectos generales de la zona	74
B.5.2.5	Inventario de pozos	74
B.5.2.6	Estudios topográficos	74
B.5.2.7	Condiciones geológicas	74
B.5.2.8	Estudios hidrológicos	75
B.5.2.9	Estudios hidrogeológicos	75
B.5.3	CONDICIONES GENERALES	75
B.5.3.1	Seguridad	76
B.5.3.2	Lejanía de toda fuente de contaminación	76
B.5.3.3	Accesos	76
B.5.3.4	Cerramientos y protección sanitaria	76
B.5.3.5	Facilidad de operación y mantenimiento	76
B.5.3.6	Sobre la vulnerabilidad y confiabilidad	76
B.5.4	DISEÑO DE POZOS	76
B.5.4.1	Período de diseño	76
B.5.4.2	Caudal de diseño	77
B.5.4.3	Número mínimo de pozos profundos	77
B.5.4.4	Parámetros hidráulicos	77
B.5.4.5	Rejillas	78
B.5.4.6	Profundidad y distancia entre pozos	79
B.5.4.7	Pozos excavados	80
B.5.4.8	Captación de manantiales	81
B.5.4.9	Equipo de bombeo	81
B.5.5	OBRAS ADICIONALES	81
B.5.5.1	Revestimientos	81
B.5.5.2	Sello sanitario	82
B.5.5.3	Empaque de grava	82
B.5.5.4	Cámara de bombeo	83
B.5.6	POZOS PIEZOMÉTRICOS	83
B.5.6.1	Separación y número de pozos	83
B.5.6.2	Diámetro	83
B.5.7	RECARGA DE ACUIFEROS	84

B.5.7.1	Recarga natural	84
B.5.7.2	Recarga artificial	84
B.5.8	ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA	84
B.5.8.1	Verificación de rendimientos	84
B.5.8.2	Desinfección	85
B.5.8.3	Verificación de equipos de bombeo	85
B.5.8.4	Desarrollo	85
B.5.9	ASPECTOS DE LA OPERACIÓN	85
B.5.9.1	Calidad del agua cruda	85
B.5.9.2	Rendimientos y niveles del acuífero	86
B.5.9.3	Tiempo de operación	86
B.5.9.4	Medición de caudales	86
B.5.10	ASPECTOS DE MANTENIMIENTO	86
B.5.10.1	Equipos de bombeo	86
B.5.10.2	Prevención contra la incrustación	86
B.6.	ADUCCIÓN Y CONDUCCIÓN	89
B.6.1	ALCANCE	89
B.6.2	ESTUDIOS PREVIOS	89
B.6.2.1	Concepción del proyecto	89
B.6.2.2	Análisis de costo mínimo	89
B.6.2.3	Estudio de la demanda	89
B.6.2.4	Aspectos generales de la zona de la aducción o conducción	90
B.6.2.5	Estudios topográficos	90
B.6.2.6	Condiciones geológicas	90
B.6.2.7	Factibilidad de ampliación	90
B.6.2.8	Recomendaciones de trazado	90
B.6.2.9	Servicios de agua cruda	91
B.6.3	CONDICIONES GENERALES	91
B.6.3.1	Tipos de aducciones y conducciones	91
B.6.3.2	Análisis hidráulico	92
B.6.3.3	Facilidad de acceso	92
B.6.3.4	Protección contra la contaminación	92
B.6.3.5	Vulnerabilidad y confiabilidad	92
B.6.3.6	Derivaciones de agua cruda	93
B.6.4	PARÁMETROS DE DISEÑO	93
B.6.4.1	Período de diseño	93
B.6.4.2	Caudal de diseño	93
B.6.4.3	Canales a flujo libre	93
B.6.4.4	Conductos a presión para aducciones y conducciones	98
B.6.4.5	Ecuación para el cálculo de las pérdidas menores	103
B.6.4.6	Análisis de costo mínimo	104
B.6.4.7	Materiales de las tuberías de aducción y conducción	104
B.6.4.8	Especificaciones y control de calidad de las tuberías.	108
B.6.4.9	Accesorios y estructuras complementarias para conductos a presión	112
B.6.4.10	Estructuras complementarias para aducciones a presión	117
B.6.4.11	Golpe de ariete	119

B.6.5	ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA	123
B.6.5.1	Canales a flujo libre	123
B.6.5.2	Conductos a presión	124
B.6.5.3	Accesorios	125
B.6.5.4	Derivaciones y válvulas de purga	125
B.6.5.5	Ventosas	125
B.6.6	ASPECTOS DE LA OPERACIÓN	126
B.6.6.1	Control de caudal en las derivaciones de agua cruda	126
B.6.6.2	Mediciones de caudal a la salida de la aducción y conducción	126
B.6.6.3	Capacidad hidráulica de los canales	126
B.6.6.4	Medición de sobrepresiones y subpresiones del golpe de ariete	127
B.6.6.5	Línea piezométrica	127
B.6.6.6	Instrumentación telemétrica	127
B.6.6.7	Pitometría	128
B.6.7	ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO	128
B.6.7.1	Mantenimiento correctivo y preventivo	128
B.6.7.2	Suspensión del servicio por mantenimiento programado	128
B.6.7.3	Registro de mantenimientos	129
B.6.7.4	Disponibilidad de repuestos	129
B.6.7.5	Válvulas de purga	129
B.6.7.6	Verificación de asentamientos en los anclajes	129
B.6.7.7	Limpieza de canales	130
B.6.7.8	Mantenimiento de accesorios	130
	Desinfección de las tuberías de conducción y tuberías matrices	130
B.7.	REDES DE DISTRIBUCIÓN	131
B.7.1	ALCANCE	131
B.7.2	ESTUDIOS PREVIOS	131
B.7.2.1	Concepción del proyecto	131
B.7.2.2	Rango de población	132
B.7.2.3	Análisis de costo mínimo	132
B.7.2.4	Optimización de la red de distribución	132
B.7.2.5	Estudios de demanda	133
B.7.2.6	Distribución espacial de demanda	133
B.7.2.7	Aspectos generales de la zona por abastecer	133
B.7.2.8	Estudios topográficos	133
B.7.2.9	Condiciones geológicas	134
B.7.2.10	Factibilidad de ampliación	134
B.7.2.11	Recomendaciones sobre el trazado de la red de distribución	134
B.7.2.12	Áreas por abastecer	135
B.7.2.13	Amenaza sísmica	136
B.7.3	CONDICIONES GENERALES	136
B.7.3.1	Capacidad de la red	136
B.7.3.2	Delimitación de zonas de presión	137
B.7.3.3	Sectorización del servicio	138
B.7.3.4	Trazado de la red	138
B.7.3.5	Edificios	139
B.7.3.6	Vulnerabilidad de la red de distribución	139
B.7.3.7	Otros	139

B.7.4	PARÁMETROS DE DISEÑO	139
B.7.4.1	Período de diseño	139
B.7.4.2	Caudal de diseño	140
B.7.4.3	Pérdidas en la red de distribución	141
B.7.4.4	Calidad de agua en la red	141
B.7.4.5	Presiones en la red de distribución	141
B.7.4.6	Diámetros de las tuberías en la red de distribución	142
B.7.4.7	Deflexión de las tuberías de la red de distribución	144
B.7.4.8	Materiales para las tuberías de la red de distribución	144
B.7.4.9	Métodos de cálculo	146
B.7.5	OTRAS CONSIDERACIONES	150
B.7.5.1	Pendientes de las tuberías de la red de distribución	150
B.7.5.2	Dimensionamiento estructural de la tubería	150
B.7.5.3	Especificaciones de los revestimientos internos	150
B.7.5.4	Cruces con carreteras o vías férreas	150
B.7.5.5	Cruces con alcantarillado	151
B.7.5.6	Cruces con quebradas y otras estructuras	151
B.7.5.7	Distancias mínimas	151
B.7.5.8	Localización de las redes de distribución de agua potable para redes nuevas	152
B.7.5.9	Colocación o nivelación de las redes de distribución	153
B.7.5.10	Profundidades de las tuberías	153
B.7.5.11	Análisis de interferencias	153
B.7.5.12	Instalación y protección de las tuberías	153
B.7.6	ACCESORIOS	154
B.7.6.1	Aspectos generales de las válvulas en redes de distribución	154
B.7.6.2	Válvulas en redes matrices de distribución	154
B.7.6.3	Válvulas en redes secundarias	155
B.7.6.4	Número de válvulas para aislar un sector de la red menor de distribución	158
B.7.6.5	Materiales para las válvulas	158
B.7.6.6	Especificaciones para las cámaras de las válvulas	158
B.7.6.7	Estructuras complementarias	158
B.7.6.8	Uniones y juntas	159
B.7.6.9	Hidrantes	160
B.7.6.10	Anclajes	161
B.7.6.11	Apoyos	161
B.7.6.12	Acometidas	162
B.7.6.13	Medidores domiciliarios	163
B.7.6.14	Macromedidores	164
B.7.6.15	Bocas de acceso	165
B.7.6.16	Accesorios para medición	165
B.7.7	REFERENCIACIÓN DE COMPONENTES	166
B.7.7.1	Catastro de la red	166
B.7.7.2	Convenciones que deben utilizarse	166
B.7.7.3	Referenciación de redes de acueducto	166
B.7.7.4	Referenciación de tuberías	166
B.7.7.5	Datos que deben anotarse en la referenciación de tuberías	167
B.7.7.6	Referenciación de válvulas	167
B.7.7.7	Datos que deben anotarse en las válvulas	167
B.7.7.8	Referenciación de hidrantes	167
B.7.7.9	Información sobre hidrantes	167
B.7.7.10	Referenciación de los accesorios de las tuberías	168
B.7.7.11	Datos que deben anotarse en el caso de accesorios	168

B.7.7.12	Sistemas de Información Geográfica	168
B.7.8	ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA	168
B.7.8.1	Presiones	168
B.7.8.2	Estanqueidad de la red	169
B.7.8.3	Válvulas	169
B.7.8.4	Hidrantes	170
B.7.8.5	Acometidas domiciliarias	170
B.7.8.6	Golpe de ariete	170
B.7.8.7	Micromedición	171
B.7.8.8	Macromedición	171
B.7.8.9	Desinfección de la red de distribución	171
B.7.9	ASPECTOS DE LA OPERACIÓN	172
B.7.9.1	Presiones en la red de distribución	172
B.7.9.2	Calidad de agua en la red	172
B.7.9.3	Fugas en la red de distribución	173
B.7.9.4	Macromedición	173
B.7.9.5	Micromedición	173
B.7.9.6	Hidrantes	174
B.7.9.7	Válvulas	174
B.7.10	ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO	175
B.7.10.1	Reparación de tuberías y accesorios	175
B.7.10.2	Reparación de micromedidores	175
B.7.10.3	Mantenimiento de macromedidores	175
B.8.	ESTACIONES DE BOMBEO	177
B.8.1	ALCANCE	177
B.8.2	CONSIDERACIONES GENERALES	177
B.8.3	ESTUDIOS PREVIOS	177
B.8.3.1	Concepción del proyecto	177
B.8.3.2	Estudio de la demanda	178
B.8.3.3	Aspectos generales de la zona	178
B.8.3.4	Estudios topográficos	178
B.8.3.5	Condiciones geotécnicas	178
B.8.3.6	Análisis de costo mínimo	178
B.8.3.7	Disponibilidad de energía	178
B.8.3.8	Factibilidad de ampliación	179
B.8.3.9	Calidad del agua que va a ser bombeada	179
B.8.3.10	Vulnerabilidad y amenaza sísmica	179
B.8.4	CONDICIONES GENERALES	179
B.8.4.1	Seguridad	179
B.8.4.2	Protección contra inundaciones	179
B.8.4.3	Protección contra rayos	179
B.8.4.4	Protección contra incendios	179
B.8.4.5	Facilidad de mantenimiento	179
B.8.4.6	Operación económica	180
B.8.4.7	Restricción de acceso	180

B.8.5	PARÁMETROS DE DISEÑO	180
B.8.5.1	Período de diseño de las estaciones de bombeo	180
B.8.5.2	Caudal de diseño	180
B.8.5.3	Pozo de succión	180
B.8.5.4	Bombas	182
B.8.5.5	Sala de bombas	183
B.8.5.6	Tuberías de impulsión y succión	184
B.8.5.7	Golpe de ariete	184
B.8.6	VÁLVULAS Y ACCESORIOS	184
B.8.6.1	Condiciones básicas	184
B.8.6.2	Accesorios necesarios	185
B.8.7	INSTALACIONES ELECTRICAS	185
B.8.7.1	Acometida en alta tensión	185
B.8.7.2	Subestación transformadora	185
B.8.7.3	Acometida en baja tensión	186
B.8.8	SISTEMA DE FUERZA	186
B.8.9	SISTEMA DE ALUMBRADO	187
B.8.10	DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN Y CONTROL	188
B.8.10.1	Instrumentación	188
B.8.10.2	Sala de control	188
B.8.11	INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS	189
B.8.11.1	Accesos y escaleras	189
B.8.11.2	Iluminación	189
B.8.11.3	Señalización	189
B.8.11.4	Ventilación	189
B.8.11.5	Protección contra incendios	189
B.8.11.6	Equipos de movilización	189
B.8.11.7	Drenaje de pisos	189
B.8.11.8	Instalaciones hidráulicas y sanitarias	190
B.8.11.9	Aislamiento acústico	190
B.8.12	ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA	190
B.8.12.1	Inspecciones preliminares	190
B.8.12.2	Pruebas preliminares	190
B.8.13	ASPECTOS DE LA OPERACIÓN	191
B.8.14	ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO	192
B.8.14.1	Equipos eléctricos	192
B.8.14.2	Equipos de bombeo y protección eléctrica	192
B.8.14.3	Cámara de succión	192
B.8.14.4	Adquisición de repuestos	192
B.9.	TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y COMPENSACIÓN	195
B.9.1	ALCANCE	195
B.9.2	ESTUDIOS PREVIOS	195

B.9.2.1	Concepción del proyecto	195
B.9.2.2	Análisis de costo mínimo	196
B.9.2.3	Estudio de la demanda	196
B.9.2.4	Curvas de demanda horaria	196
B.9.2.5	Aspectos generales de la zona	196
B.9.2.6	Estudios topográficos	196
B.9.2.7	Condiciones geológicas	196
B.9.2.8	Factibilidad de ampliación	197
B.9.2.9	Trazado de la red y delimitación de zonas de presión	197
B.9.2.10	Vulnerabilidad y amenaza sísmica	197
B.9.3	CONDICIONES GENERALES	197
B.9.3.1	Seguridad	197
B.9.3.2	Facilidad de mantenimiento	197
B.9.3.3	Restricción de acceso	197
B.9.3.4	Localización de tanques	198
B.9.3.5	Distancia a otras redes	198
B.9.4	PARÁMETROS DE DISEÑO	198
B.9.4.1	Período de diseño	198
B.9.4.2	Número mínimo de tanques	198
B.9.4.3	Caudal de diseño	199
B.9.4.4	Capacidad de regulación	199
B.9.4.5	Capacidad para demanda contra incendio	199
B.9.4.6	Volumen del tanque	199
B.9.4.7	Materiales	200
B.9.4.8	Presión en la tubería de alimentación	200
B.9.4.9	Niveles	200
B.9.4.10	Tiempo y caudal de vaciado	200
B.9.4.11	Profundidad del fondo del tanque	200
B.9.5	DISPOSITIVOS ANEXOS	201
B.9.5.1	Forma del tanque	201
B.9.5.2	Entrada de agua al tanque	201
B.9.5.3	Salida de agua del tanque	201
B.9.5.4	Rebose	202
B.9.5.5	Control de nivel	202
B.9.5.6	Desagüe	202
B.9.5.7	Medición de caudal	202
B.9.5.8	Sistema de drenaje	203
B.9.6	OBRAS COMPLEMENTARIAS	203
B.9.6.1	Impermeabilización	203
B.9.6.2	Ventilación	203
B.9.6.3	Cubierta	203
B.9.6.4	Acceso al interior	204
B.9.6.5	Iluminación	204
B.9.6.6	Señalización	204
B.9.7	ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA	204
B.9.7.1	Inspecciones preliminares	204
B.9.7.2	Pruebas preliminares	204
B.9.7.3	Desinfección de los tanques de almacenamiento	205
B.9.8	ASPECTOS DE LA OPERACIÓN	205

B.9.8.1 Verificación de presiones	205
B.9.8.2 Control de filtraciones	205
B.9.8.3 Entrada de agua al tanque	206
B.9.9 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO	206
B.9.9.1 Limpieza.	206
B.9.9.2 Impermeabilización	206

CAPÍTULO B.0

B.0. REFERENCIACIÓN GENERAL

B.0.1 SISTEMA DE UNIDADES

año	año
cm ²	centímetro cuadrado
cm ³	centímetro cúbico
dia	día
g	gramo
h	hora
ha	hectárea
hab	habitante
kg	kilogramo
km	kilómetro
km ²	kilómetro cuadrado
kN	kilonewton
kPa	kilopascal
kV	kilovoltio
kW	kilowattio
L	litro
m	metro
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
mg	miligramo
min	minuto
mm	milímetro
MPa	megapascal
N	Newton
°	grados
Pa	Pascal
s	segundo
t	tonelada
W	Wattio

B.0.2 VARIABLES

%p	= porcentaje de pérdidas (entre 0 y 1)	-
α	= ángulo con respecto a la horizontal de las rejillas)	°
Ψ	= ángulo de reposo del material	°
θ	= ángulo del talud respecto a la horizontal	°
β	= coeficiente en función de la forma de las barras	-
ρ	= densidad del agua	kg/m ³
μ	= viscosidad absoluta del agua	Pa·s
$\sigma_{\text{admisible}}$	= esfuerzo de trabajo máximo admisible	Pa
τ_0	= esfuerzo cortante crítico	N/m ²
μ_p	= relación de Poisson de un material	-
σ_{rotura}	= esfuerzo de rotura	Pa
ρ_s	= densidad del sedimento	kg/m ³
a	= área del desagüe	m ²
a	= celeridad de la onda de presión	m/s

A	= área transversal del acuífero (B.5.1)	m ²
A	= área superficial del tanque (B.9.2)	m ²
A	= área transversal	m ²
A	= área de apoyo del anclaje (B.7.5)	m ²
A _e	= apertura efectiva por metro de rejilla	m ² /m
A _i	= área de influencia o área abastecida por el nodo i	ha
b	= distancia libre entre barras (rejillas)	m
c	= concentración de cloro	mg/L
C _{ij}	= concentración de cloro que entra del nodo i al nodo 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 nodo j	mg/L
c _w	= concentración de cloro en la pared de la tubería	
d	= diámetro de la partícula por remover (B.4.3)	m
d	= longitud saliente de la tubería en una junta (Tabla B.6.13)	m
D	= diámetro interno real de la tubería	m
D ₇₅	= tamaño del 75% que pasa en la curva granulométrica	mm
d _{bruta}	= dotación bruta	L/(hab·día)
dc/dt	= tasa de cambio de la concentración de cloro en el tiempo de caudales	mg/L -s
d _{neta}	= dotación neta	L/(hab.día)
e	= espesor de la tubería	m
E	= módulo de elasticidad de un material (B.6.15)	Pa
E	= escape permitido (B.7.6)	L/h
E _p	= módulo de compresibilidad del líquido (B.6.15)	GPa
f	= coeficiente de fricción de Darcy	-
f 'c	= Resistencia del concreto	MPa
F.S	= factor de seguridad	-
Fr	= numero de Froude	-
g	= aceleración de la gravedad	9.81 m ² /s
γ	= peso específico del agua	kN/m ²
H	= altura dinámica total	m
H _m	= cabeza de pérdidas menores	m
η	= eficiencia de la bomba y el motor	-
h	= nivel dinámico del pozo (aguas subterráneas)	m
h	= cabeza sobre el desagüe (B.9.2)	m
H	= nivel estático del pozo	m
H _{es}	= altura estática de succión	m
h _f	= pérdida de cabeza debida a la fricción	m
i	= gradiente hidráulico	-
K	= conductividad hidráulica	m/s
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
L _{min}	= longitud mínima de la rejilla	m
m	= espesor del acuífero confinado (B.5.3)	m
m	= coeficiente de contracción del desagüe (B.9.2)	0.50 a 0.60
N	= número de uniones en el sector probado, sin incluir uniones soldadas	-
n _j	= número de juntas	-
NPSH	= cabeza neta de succión positiva	m

p	= población (B.2.2)	hab
p	= presión de ensayo hidráulico (B.7.6)	Pa
p	= presión medida en el sector durante una prueba	Pa
P	= potencia requerida por la bomba	W
P _{atm}	= presión atmosférica	Pa
P _v	= presión de vapor del agua	Pa
Q	= caudal de operación	m ³ /s
Q ₉₅	= caudal correspondiente al 95% de excedencia en la curva de duración	
Q _d	= caudal de diseño	m ³ /s
q _e	= caudales de entrada	m ³ /s
Q _e	= caudal específico por unidad de superficie	L/s/ha
Q _i	= caudal de consumo en el nodo i	L/s
Q _{ij}	= caudal que fluye del nodo i al nodo j	m ³ /s
Q _{in}	= caudal de incendio	m ³ /s
QMD	= caudal máximo diario	L/s
Qmd	= caudal medio diario	L/s
QMH	= caudal máximo horario	L/s
q _s	= caudales de salida	m ³ /s
R	= radio del cono de influencia de un pozo (aguas subterráneas)	m
R	= radio real interno de la tubería	m
R	= radio hidráulico (canales abiertos)	m
r	= radio relativo a un pozo	m
ρ	= densidad del agua	kg/m ³
Re	= número de Reynolds	-
r _h	= radio hidráulico	m
S	= espesor de las barras (rejillas)	m
S _F	= pendiente de la línea de energía total	-
S _o	= pendiente del fondo del canal	-
t	= tiempo	s
T	= tiempo de vaciado en segundos (B.9.2)	s
τ	= período del golpe de ariete	s
v	= velocidad de asentamiento	m/s
V	= velocidad media del flujo	m/s
V	= volumen del tanque (tanques)	m ³
V _e	= velocidad de entrada a la rejilla	m/s
x	= abscisa o distancia horizontal	m
y	= profundidad del flujo	m

B.0.3 ABREVIATURAS

AWWA	American Water Works Association
ASTM	American Society of Testing Materials
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas
DNP	Departamento Nacional de Planeación
DSPD	Dirección de Servicios Públicos Domiciliarios del Ministerio de Desarrollo Económico
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
ISO	International for Standardization Organization
NSR-98	Norma Sismorresistente de 1998
NTC	Norma Técnica Colombiana
NTCOO	Norma Técnica Colombiana Oficial Obligatoria
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios

B.0.4 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS

Las siguientes son las normas técnicas, tanto expedidas por el ICONTEC, por la AWWA y por la ASTM a las cuales se hace referencia en este capítulo. En caso de conflicto, prevalecerá lo establecido en este Reglamento.

B.0.4.1 NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS

GTC 30	Guía para el monitoreo de aguas subterráneas
NTC 10	Clasificación de tubos de acero
NTC 11	Tubos de acero al carbono aleado ferrítico y austenítico con y sin costura.
GTC 16	Guía para la selección, diseño e instalación de sistemas de tuberías termoplásticas para agua a presión.
NTCOO 44	Ingeniería Civil y Arquitectura. Tubos y Juntas de Asbesto Cemento para la Conducción de Fluidos a Presión.
NTCOO 382	Tubos de policloruro de vinilo PVC clasificados según la presión (serie RDE)
NTC 487	Manguitos de asbesto - cemento
NTCOO 539	Tubos de PVC y de CPVC para Conducción de Agua Potable. Requisitos de Antitoxicidad. Clasificados Según la Presión.
NTC 664	Determinación del contenido de negro de humo.
NTC 747	Tubos de presión tipo cilindro de acero con recubrimiento de hormigón, mortero o ambos
NTC 839	Definiciones y Clasificación de medidores de Agua
NTC 1063	Medición de agua en conductos cerrados. Parte 1 : Especificaciones - Parte 2 : Requisitos para su instalación. - Parte 3 : Equipos y métodos de ensayo
NTC 1125	Determinación de la Resistencia al Impacto en Tubos y Accesorios Termoplásticos.
NTC 1279	Válvulas de compuertas para sistemas de acueducto y alcantarillado.
NTC 1328	Juntas flexibles para la unión de tubos circulares de concreto.
NTCOO 1339	Plásticos. Accesorios de Poli(cloruro de vinilo) (PVC) rígido para transporte de fluidos en tubería a presión.
NTC 1461	Colores y Señales de Seguridad.
NTC 1483	Detectores de Incendio. Clasificación.
NTC 1500	Código Colombiano de Fontanería.
NTC 1522	Ensayo para Determinarla Granulometría por Tamizado.
NTC 1595	Bombas Hidráulicas. Definiciones, terminología y símbolos.
NTCOO 1602	Tubos de polietileno de baja densidad para conducción de agua. Clase 40
NTCOO 1747	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 1901	Válvulas de accionamiento por flotador
NTC 1931	Seguridad contra incendios. Señales.
NTC 1991	Flotadores para accionamiento de válvulas.
NTC 2011	Válvulas de acondicionamiento por flotador.
NTC 2097	Válvulas de compuertas con asiento elástico para agua y sistema de alcantarillado.
NTC 2193	Válvulas de mariposa con asiento elástico
NTCOO 2295	Uniones mecánicas con sellos elastoméricos para tubos y accesorios de PVC rígido, en 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 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 tuberías accesorios termoplásticos.
NTC 3359	Tuberías metálicas, bridas y accesorios con brida para tubos de hierro fundido.
NTC 3409	Plásticos. Accesorios de polietileno (PE) para unión por fusión a tope con tubería de polietileno (PE). Homologación de ASTM-D 3261.
NTCOO 3410	Plásticos. Accesorios de polietileno tipo campana para tubería de polietileno con diámetro exterior controlado tipo IPS o CTS.(Homologación de ASTM-D 2683).
NTC 3578	Determinación del tiempo hasta la falla de tubería plástica sometida a presión interna constante.
NTC 3579	Determinación de la presión hidráulica de rotura a corto plazo en tubos y accesorios de plástico.
NTC 3630	Agua. Demanda bioquímica de oxígeno.
NTC 3651	Agua. Método para determinación de pH en el agua.
NTC 3664	Tubos plásticos de polietileno (PE) con base en el diámetro exterior, controlados y clasificados según la presión.
NTC 3694	Plásticos. Tubos tipo CTS de polietileno (PE).
NTC 3705	Gestión Ambiental. Agua. Medición de flujo de agua en canal abierto con vertederos de placa fina.
NTC 3871	Tubos de Fibra de Vidrio para Usos en Sistemas a Presión.
NTC 3874	Plásticos. Símbolos para los Accesorios de Tuberías Plásticas.
NTC 3877	Especificaciones para juntas de tubos de fibra (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio) usando sellos elastoméricos.
NTC 3919	Tubos de Fibra de Vidrio de Filamento Enrollado.
NTC 3933	Agua. Método estándar para medición del flujo de agua en canal abierto, con canaletas Parshall.
NTC 3945	Agua. Método estándar para medición del flujo en canal abierto mediante elementos rotativos molinetes.
NTC 3948	Suelo. Especificaciones técnicas para la construcción de un pozo de monitoreo para aguas subterráneas.
NTC 3957	Suelos. Determinación de la conductividad hidráulica y retención de agua característica.
NTC 4246	Desinfección de líneas principales para la conducción de agua.
NTC 4576	Desinfección de instalaciones de almacenamiento de agua potable.
NTC 4705	Agua. Determinación del oxígeno disuelto.
NTC 4707	Calidad del Agua. Determinación de la turbiedad. Método Nefelométrico.
NTC 4585	Tubos de polietileno para distribución de agua. Especificaciones. Serie Métrica.
NTC ISO 5667-1	Calidad del agua. Muestreo. Directrices para el diseño de programas.
NTC ISO 5667-2	Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales del muestreo.
NTC ISO 5667-3	Calidad del agua. Muestreo. Recomendaciones para la conservación y el manejo de las muestras.
NTC ISO 5667-4	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales.
NTC ISO 5667-6	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas de ríos y corrientes.
NTC ISO 5667-9	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas marinas
NTC ISO 5667-11	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas subterráneas.
NTC ISO 5667-1	Calidad del agua. Muestreo. Directrices para el diseño de programas.
NTC ISO 5667-2	Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo.
NTC ISO 5667-3	Calidad de agua. Muestreo. Recomendaciones para la conservación y el manejo de las muestras.
NTC ISO 5667-4	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales.
NTC ISO 5667-6	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas de ríos y corrientes.
NTC ISO 5667-9	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de agua marinas
NTC ISO 5667-11	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas subterráneas.

B.0.4.2 NORMAS TÉCNICAS AWWA

AWWA A 100 Water Wells.

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 150	Thickness Design of Ductile Iron Pipe
AWWA C 151	Ductile Iron Pipe Centrifugally Cast for Water.
AWWA C 153	Ductile Iron Compact Fitting 3in thru 24in for Water Service.
AWWA C 200	Steel Water Pipe 6in and Larger.
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 400	Asbestos Cement Pressure Pipe.
AWWA C 401	Selection of Asbestos Cement Pressure Pipe.
AWWA C 402	Asbestos Cement Transmission Pipe.
AWWA C 403	Selection of Asbestos Cement Transmission Pipe.
AWWA C 500	Gate Seated Gate Valves Fro Water Supply Service.
AWWA C 500	Gate Seated Gate Valves Fro Water Supply Service.
AWWA C 501	Cast Iron Sluice Gates.
AWWA C 502	Dry Barrel Fire Hydrants.
AWWA C 504	Rubber Seated Butterfly Valves.
AWWA C 506	Backflow prevention device-Reduced pressure principle and double check valve types, WITHDRAWN, 9/90.
AWWA C 508	Swing Check Valves for Water Works Service.
AWWA C 509	Resilient Seated Gate Valves for Water Supply 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 540	Power Actuating Device for Valve & Sluice Gates.
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 654	Disinfection of Wells.
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 706	Direct Reading Remote-registration Systems for Cold Water Meters.
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 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.

B.0.4.3 NORMAS TÉCNICAS ASTM

ASTM A 211	Specification for spiral - welded steel or iron pipe.
ASTM A 370	Mechanical Testing of Steel Products.
ASTM A 409	Welded Large Diameter Austenitic Steel Pipe for Corrosive or High-Temperature Service.
ASTM A 589	Seamless and Welded Carbon Steel Water-Well Pipe.
ASTM A 714	High-Strength Low-Alloy Welded and Seamless Steel 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 C 822	Concrete Pipe and Related Products.
ASTM D 512	Test Method for Fluoride in Water.
ASTM D 888	Test Methods for Dissolved Oxygen in Water.
ASTM D 1179	Test Methods for Fluoride in Water.
ASTM D 1238	Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer.
ASTM D 1293	Test Methods pH of Water.ASTM D 1889 Test Methods Turbidity of Water.
ASTM D 1784	Rigid Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Compounds and Chlorinated Poly (Vinyl Chloride) (CPVC) Compounds.
ASTM D 2122	Determining Dimensions of Thermoplastic Pipe and Fittings.
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 2310	Machine-Made "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe
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 2683	Socket-Type Polyethylene Fittings for Outside Diameter-Controlled Polyethylene Pipe and Tubing.
ASTM D 2737	Standar specification for polyethylene (PE) plastic tubing.
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	Standar 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	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 3372	Test Methods for Molybdenum in Water.
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.
ASMT D 3870	Práctica para Establecer las Características de Funcionamiento de los Métodos de Recuento de Colonias
ASTM D 4161	"Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe Joints Using Flexible Elastomeric Seals.

ASTM D 5389	Open-Channel Flow Measurement by Acoustic Velocity Meter Systems.
ASTM D 5640	Selection of Weirs and Flumes for Open-Channel Flow Measurement of Water.
ASTM F 0477	Elastomeric Seals (Gaskets) for Joining Plastic Pipe.
ASTM F 0480	Thermoplastic Well Casing Pipe and Couplings Made in Standard Dimension Ratios (SDR), SCH 40 and SCH 80.
ASTM F 0682	Wrought Carbon Steel Sleeve-Type Pipe Couplings.

B.0.4.3 NORMAS TÉCNICAS ISO

ISO R 160	Asbestos-cement, pressure pipes and joints.
ISO 1172	Textile-glass-reinforced plastics. Prepregs, moulding compounds and laminates. Determination of the textile-glass and mineral-filler content -- Calcination methods
ISO 2531	Tubos y accesorios de fundición dúctil para canalizaciones a presión.
ISO 2230	Elastómeros vulcanizados - condiciones de almacenamiento.
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 (Alcantarilados 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 8180	Tuberías de hierro dúctil – Revestidas interiormente de polietileno.

B.0.4.4 NORMAS TÉCNICAS DIN

DIN 16961	Thermoplastics Pipes and Fittings with Profiled Outer and Smooth Inner Surfaces. Part 1 : Dimensions. Part 2 : Technical delivery conditions.
-----------	---

B.0.5 LEYES, DECRETOS Y LEGISLACIÓN PERTINENTE

Ley 09 de 1979, por la cual se expide el Código Sanitario
 Ley 373 de 1997, sobre ahorro y uso eficiente del agua.
 Ley 388 de 1997, sobre Planes de Ordenamiento Territorial
 Ley 142 de 1994, por la cual se establece la regulación de los Servicios Públicos Domiciliarios.
 Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente.
 Decreto 475 de 1998, del Ministerio de Salud Pública y de Desarrollo Económico, por el cual se expiden las normas sobre calidad del agua potable.

CAPÍTULO B.1

B.1. ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO

B.1.1 ALCANCE

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

El presente título incluye el cálculo de la población, la dotación y demanda, las fuentes de abastecimiento, las captaciones de agua superficial y profunda, las aducciones y conducciones, las redes de distribución, las estaciones de bombeo y los tanques de compensación que forman parte de los sistemas de acueducto, cuyas prescripciones particulares deben seguirse según la tabla B.1.1. No incluye las plantas de tratamiento de agua potable, ni los procesos de potabilización, aspectos que son tratados en el Título C.

TABLA B.1.1
Contenido del presente Título

Componente	Capítulo
Aspectos generales	B.1
Población, dotación y demanda	B.2
Fuentes de abastecimiento	B.3
Captaciones de agua superficial	B.4
Captaciones de agua subterránea	B.5
Aducciones y conducciones	B.6
Redes de distribución	B.7
Estaciones de bombeo	B.8
Tanques de compensación	B.9

B.1.2 DEFINICIONES

Para interpretar y aplicar el presente Título deben tenerse en cuenta las siguientes definiciones:

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

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

Acometida Derivación de la red local de acueducto que llega hasta el registro de rueda en el punto de empate con la instalación interna del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general.

Aclaración: el registro de rueda es una válvula de operación manual de Compuerta o de Bola va instalado adelante del medidor y puede ser operado por el usuario. Es diferente al registro de corte del servicio de acueducto que va antes del medidor, dentro de la cajilla de este y solamente lo opera la E.S.P. para casos como suspensión del servicio de acueducto. (Decreto 302 Febrero 2000, reglamentario de la Ley 142)

Acueducto Véase sistema de abastecimiento de agua.

Acuífero confinado Acuífero comprendido entre dos capas impermeables en donde el agua está sometida a una presión mayor que la atmosférica.

Acuífero libre Acuífero donde al agua se encuentra sometida a la presión atmosférica.

Acuífero semiconfinado Acuífero comprendido entre dos capas de baja permeabilidad.

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.

Aducción Componente a través del cual se transporta agua cruda, ya sea a flujo libre o a presión.

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

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.

Almacenamiento Acción destinada a almacenar un determinado volumen de agua para cubrir los picos horarios y la demanda contra incendios.

Altura dinámica total Energía suministrada por una bomba a un flujo en tuberías, expresada en términos de cabeza, obtenida como la suma de la altura estática en la succión, de las pérdidas de energía por fricción y pérdidas menores en la succión y en la impulsión, y de la presión requerida al final de la línea de impulsión.

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

Boca de acceso Abertura que se localiza sobre una tubería con el objeto de permitir el acceso a su interior.

Bocatoma Estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente superficial y la conduce al sistema de acueducto.

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.

Cabeza dinámica total Véase Altura dinámica total.

Cabeza de presión. Presión manométrica en un punto, expresada en metros de columna de agua, obtenida como la razón entre la magnitud de la presión y el peso específico del agua.

Cámara de succión Depósito de almacenamiento de agua en el cual se encuentra la tubería de succión.

Canal Conducto descubierto que transporta agua a flujo libre.

Capacidad de acuífero Volumen de agua que puede producir un acuífero.

Capacidad específica (agua subterránea o pozos profundos) Caudal extraído de un pozo por unidad de abatimiento, para un tiempo determinado, expresado en L/s/m.

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

Captación Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento.

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 y definido en términos de caudal por unidad de área o caudal por unidad de longitud de tubería de distribución instalada o proyectada en el área de diseño.

Caudal 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.

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 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 cabeza 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.

Conductividad hidráulica Caudal que pasa por un área unitaria bajo un gradiente unitario y que mide la capacidad de un acuífero para transportar agua.

Conducto Estructura hidráulica destinada al transporte de agua.

Cuenca hidrográfica Superficie geográfica que drena hacia un punto determinado.

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 cabeza neta de succión positiva.

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, aunque su valor no coincida con el diámetro real interno.

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

Dotación Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes.

Dragado Proceso realizado en un río, canal o embalse que tiene por objeto la remoción de sedimentos del fondo.

Drenaje Estructura destinada a la evacuación de aguas subterráneas o superficiales para evitar daños a las estructuras, los terrenos o las excavaciones.

Elasticidad económica Relación entre la variación en el consumo y la variación en el precio de un bien, obtenida como la razón entre el incremento proporcional en el consumo sobre el incremento proporcional en el precio.

Empaque de grava (aguas subterráneas) Manto de grava de un pozo de extracción colocado entre las paredes del pozo y la tubería de revestimiento que contiene los filtros para evitar la entrada del material fino proveniente de un acuífero.

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

Filtro (aguas subterráneas) Dispositivo utilizado para evitar la entrada de material fino de un acuífero a la tubería de extracción de un pozo de agua subterránea.

Flujo a presión Aquel transporte en el cual el agua ocupa todo el interior del conducto, quedando sometida a una presión superior a la atmosférica.

Flujo libre Aquel transporte en el cual el agua presenta una superficie libre donde la presión es igual a la presión atmosférica.

Fuente de abastecimiento de agua Depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial, utilizado en un sistema de suministro de agua.

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.

Golpe de ariete Fenómeno hidráulico de tipo dinámico oscilatorio, causado por la interrupción violenta del flujo en una tubería, bien por el cierre rápido de una válvula o 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.

Hidrante Elemento conectado a la red de distribución que permite la conexión de mangueras especiales utilizadas en la extinción de incendios.

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

Línea piezométrica Línea o elevación obtenida de la suma de la cabeza de presión y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.

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 distribución en diferentes sectores.

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

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.

Nivel dinámico (Aguas subterráneas) Nivel freático en el pozo de un acuífero, cuando a través de éste se extrae el agua.

Nivel estático (Aguas subterráneas) Nivel freático en un acuífero cuando no hay extracción de agua.

Nivel freático Nivel del agua subterránea en un acuífero.

NPSH (Del inglés *Net Positive Suction Head*). Presión necesaria para mover un fluido desde la cámara de succión hasta el impulsor de la bomba.

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.

Pérdidas menores Pérdida de energía causada por accesorios o válvulas en una conducción de agua.

Pérdidas por fricción Pérdida de energía causada por los esfuerzos cortantes del flujo en las paredes de un conducto.

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.

Planta de potabilización Instalaciones necesarias de tratamientos unitarios para purificar el agua de abastecimiento para una población.

Población de diseño Población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice de cubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para el período de diseño.

Población flotante Población de alguna localidad que no reside permanentemente en ella y que la habita por un espacio de tiempo corto por razones de trabajo, turismo o alguna otra actividad temporal.

Porosidad Relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de una muestra de suelo.

Pozo piezométrico (aguas subterráneas) Pozo a través del cual es posible conocer el nivel freático en un acuífero.

Presión dinámica Presión que se presenta en un conducto con el paso de agua a través de él.

Presión estática Presión en un conducto cuando no hay flujo a través de él.

Presión 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.

Prueba de bombeo (aguas subterráneas) Procedimiento de campo por medio del cual se busca encontrar las características hidrogeológicas de producción de un pozo perforado para la explotación de un acuífero.

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

Rápida. Caída inclinada de agua con una pendiente alta.

Rebosadero Estructura hidráulica destinada a evitar que el nivel del agua sobrepase una cota determinada; permite la evacuación del agua de exceso en un embalse, tanque o cualquier estructura que almacene agua hacia un lugar conveniente.

Recarga artificial (aguas subterráneas) Método para alimentar artificialmente un acuífero por medio de infiltraciones.

Red de distribución Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.

Red matriz Parte de la red de distribución que conforma la malla principal de servicio de una población y que distribuye el agua procedente de la conducción, planta de tratamiento o tanques de compensación a las redes secundarias. La red primaria mantiene las presiones básicas de servicio para el funcionamiento correcto de todo el sistema, y generalmente no reparte agua en ruta.

Red menor de distribución Red de distribución que se deriva de la red secundaria y llega a los puntos de consumo.

Red primaria Véase Red matriz

Red secundaria Parte de la red de distribución que se deriva de la red primaria y que distribuye el agua a los barrios y urbanizaciones de la ciudad y que puede repartir agua en ruta.

Registro de corte o llave de corte Dispositivo situado en la cámara de registro del medidor (o cajilla del medidor) que permite la suspensión del servicio de acueducto de un inmueble. Solamente lo opera la entidad prestadora del servicio.

Registro de rueda o de bola. Es un dispositivo de suspensión del servicio para efectuar las reparaciones y el mantenimiento interno en la vivienda. Está situado después del medidor, generalmente en el empate con la instalación interna. Puede operarlo el usuario.

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

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.

Sedimentación Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad.

Tanque de compensación Depósito de agua en un sistema de acueducto, cuya función es compensar las variaciones en el consumo a lo largo del día mediante almacenamiento en horas de bajo consumo y descarga en horas de consumo elevado.

Tiempo de recuperación (aguas subterráneas) Tiempo que tarda un acuífero en volver a tener el nivel freático anterior a una extracción de agua.

Tipo de usuario Diferentes clases de usuarios que pueden existir a saber: residenciales, industriales, comerciales, institucionales y otros.

Transmisividad hidráulica Producto de la conductividad hidráulica por el espesor total de un acuífero. Representa el caudal que pasa a través de todo el espesor de un acuífero, en un ancho unitario, bajo un gradiente unitario.

Tubería de impulsión Tubería de salida de un equipo de bombeo.

Tubería de succión Tubería de entrada a un equipo de bombeo.

Tubería Ducto de sección circular para el transporte de agua.

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)

Válvulas de sectorización Son dispositivos que cierran el paso del agua en las tuberías de distribución, con el fin de sectorizar la red. Usualmente son válvulas de compuerta con vástago fijo o válvulas mariposa con mecanismo de reducción de velocidad de cierre para evitar golpe de ariete.

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.

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 prefijados.

B.1.3 PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO

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

B.1.3.1 PASO 1 - Definición del nivel de complejidad del sistema

Debe definirse el **nivel de complejidad del sistema**, según se establece en el capítulo A.3 para cada uno de los componentes del sistema.

B.1.3.2 PASO 2 - Justificación del proyecto y definición del alcance

Todo componente de un sistema de acueducto debe justificarse con la identificación de un problema de salud pública, del medio ambiente o de bienestar social, el cual tiene solución con la ejecución del sistema propuesto, ya sea mediante la ampliación de cobertura del servicio o mejoramiento de su calidad y eficiencia.

Además, el proyecto debe cumplir los criterios de priorización establecidos en el capítulo A.5.

B.1.3.3 PASO 3 - Conocimiento del marco institucional

El diseñador del sistema debe conocer las diferentes entidades relacionadas con la prestación del servicio público de suministro de agua potable, estableciendo responsabilidades y las funciones de cada una. Las entidades que deben identificarse son :

1. Entidad responsable del proyecto.
2. Diseñador.
3. Constructor.
4. Rol del municipio, ya sea como prestador del servicio o como administrador del sistema.
5. Empresa de Servicios Públicos y su carácter. (Oficial, mixto o privado)
6. Entidades territoriales competentes.
7. Entidades de planeación. (DNP, DSPD, Ministerio del Medio Ambiente, etc)
8. Entidad reguladora. (CRA u otra)
9. Entidad de vigilancia y control. (SSPD u otra)
10. Operador.
11. Interventor.
12. Acciones proyectadas de la comunidad en el sistema.
13. Autoridad ambiental competente. (Ministerio del Medio Ambiente, corporaciones autónomas regionales, etc)
14. Fuentes de financiación.

B.1.3.4 PASO 4 - Acciones legales

El diseñador debe conocer todas las leyes, decretos, reglamentos y normas técnicas relacionadas con la conceptualización, diseño, operación, construcción, mantenimiento, supervisión técnica y operación de un sistema de acueducto o cada uno de sus componentes en particular.

Además, deben tomarse las medidas legales necesarias para garantizar el adecuado desarrollo del sistema de acueducto o alguno de sus componentes.

B.1.3.5 PASO 5 - Aspectos ambientales

Debe presentarse un estudio sobre el impacto ambiental generado por el proyecto, ya sea negativo o positivo, en el cual se incluya una descripción de las obras y acciones de mitigación de los efectos en el medio ambiente propios del proyecto, siguiendo todo lo establecido en el literal A.1.3

B.1.3.6 PASO 6 - Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previstos

El diseñador debe conocer los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial planteados dentro del marco de la Ley 388 de 1997 o la que la reemplace y establecer las implicaciones que el sistema de acueducto, o cualquiera de sus componentes, tendría dentro de la dinámica del desarrollo urbano.

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

B.1.3.7 PASO 7 - Estudios de factibilidad y estudios previos

Todo proyecto de acueducto debe llevar a cabo los estudios factibilidad y los estudios previos mencionados en el capítulo A.7

B.1.3.8 PASO 8 - Diseño y requerimientos técnicos

El diseño de cualquier componente de un sistema de acueducto debe cumplir con los requisitos mínimos establecidos en el presente Título, según los literales establecidos en la tabla B.1.1.

El diseño de cualquier sistema de acueducto debe someterse a una evaluación socioeconómica y estar sujeto a un plan de construcción, operación, mantenimiento y expansión de costo mínimo, siguiendo lo establecido en el capítulo A.8

B.1.3.9 PASO 9 - Construcción e interventoría

Los procesos de construcción e interventoría se ajustarán a los requisitos mínimos establecidos en el capítulo G.6 y el literal A.1.5

B.1.3.10 PASO 10 - Puesta en marcha, operación y mantenimiento

Los procedimientos y medidas pertinentes a la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los diferentes componentes de un sistema de acueducto deben seguir los requerimientos establecidos para cada componente en particular, según la tabla B.1.1

CAPÍTULO B.2

B.2. POBLACIÓN, DOTACIÓN Y DEMANDA

B.2.1 ALCANCE

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

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

B.2.2 ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN

B.2.2.1 Censos

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

La estimación de la población urbana es el aspecto principal en la definición del nivel de complejidad. Este manual establece que esa población debe corresponder a la proyectada al final del periodo de diseño, llamado también horizonte de planeamiento del proyecto.

B.2.2.2 Censos de vivienda

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

B.2.2.3 Densidades actuales y futuras

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 con el objeto de verificar la expansión real del sistema de acueducto.

Debe tenerse en cuenta la distribución espacial de la población, identificando los diferentes usos de la tierra, tipos de consumidores y la distribución espacial de la demanda.

Para todas las zonas de cobertura del sistema de acueducto debe verificarse que las proyecciones de la población no superen las densidades de saturación previstas para la localidad.

Las densidades de población y la distribución espacial deben estar acordes con las normas urbanísticas, planes de desarrollo, planes de ordenamiento territorial y demás programas formulados por el gobierno municipal, gubernamental o nacional que determinen la distribución espacial de la población, los usos de la tierra y posibles servidumbres, atendiendo los programas desarrollados según la Ley 188 de 1997.

B.2.2.4 Métodos de cálculo

El método de cálculo para la proyección de la población depende del **nivel de complejidad del sistema** según se muestra en la tabla B.2.1.

Se calculará la población utilizando por lo menos los siguientes modelos matemáticos: Aritmético, geométrico y exponencial, seleccionando el modelo que mejor se ajuste al comportamiento histórico de la población. Los datos de población debe estar ajustados con la población flotante y la población migratoria. En caso de falta de datos se recomienda la revisión de los datos de la proyección con los disponibles en poblaciones cercanas que tengan un comportamiento similar al de la población en estudio.

TABLA B.2.1
Métodos de cálculo permitidos según el Nivel de Complejidad del Sistema

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

El Método Aritmético supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \times (T_f - T_{uc})$$

Donde, P_f es la población (hab) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población, P_{uc} es la población (hab) correspondiente al último año censado con información, P_{ci} es la población (hab) correspondiente al censo inicial con información, T_{uc} es el año correspondiente al último año censado con información, T_{ci} es el año correspondiente al censo inicial con información y T_f es el año al cual se quiere proyectar la información.

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

$$P_f = P_{uc} (1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

Donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc}-T_{ci})}} - 1$$

El Método exponencial La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} \times e^{k \times (T_f - T_{ci})}$$

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

$$k = \frac{\text{Ln}P_{cp} - \text{Ln}P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

donde P_{cp} es la población del censo posterior, P_{ca} es la población del censo anterior, T_{cp} es el año correspondiente al censo posterior, T_{ca} es el año correspondiente al censo anterior y Ln el logaritmo natural o neperiano.

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

- Uno de los municipios (población B) debe ser de la misma región, con desarrollo, clima y tamaño similar al del municipio en estudio y obviamente con información confiable en cuanto a crecimiento de la población.
- El otro municipio (población C) debe ser de la misma región, con desarrollo y clima similar al del municipio en estudio (población A) pero con un número de habitantes mayor al de este municipio.
- El tercer municipio (población D) debe ser de otra región del país con una número de habitantes mayor al del municipio en estudio (población A) y con un desarrollo y clima similar.

El procedimiento detallado, por ser eminentemente gráfico es difícil de explicar en este manual y próximamente será entregado en la Guía RAS 001.

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

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

B.2.2.5 Ajuste por población flotante y población migratoria

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

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

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

B.2.2.6 Etnias minoritarias

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

B.2.3 USOS DEL AGUA

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

B.2.3.1 Uso residencial

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

1. En general el consumo total de uso residencial aumenta con el tiempo. El diseñador debe justificar la proyección de la dotación para las etapas de construcción de las obras del sistema de acueducto y para el período de diseño de cada uno de sus componentes.
2. Debe atenderse lo estipulado en el artículo 15 de la Ley 373 de 1997, sobre uso eficiente y ahorro del agua, o la que la reemplace, sobre la tecnología de bajo consumo y la reglamentación que exista al respecto, considerando el uso de micromedidores de caudal, reguladores de caudal, reguladores de presión o cualquier otro tipo de accesorio que implique una reducción en el consumo.
3. El diseñador debe tener en cuenta la utilización de aparatos de bajo consumo, con el fin de determinar el posible ahorro y el efecto de estos instrumentos en la dotación neta.
4. El diseñador debe deducir la dotación de uso residencial para el diseño de los sistemas de acueducto con base en mediciones directas hechas en la localidad. Cuando en ésta no existan micromedidores de caudal, el diseñador puede estimar la dotación por comparación de poblaciones cercanas con características similares.
5. Al hacer el estudio de la dotación por uso residencial deben tenerse en cuenta, entre otros, los siguientes factores: el tamaño de la población, las condiciones socioeconómicas, el clima, la cobertura de medidores, los aspectos sanitarios y demás factores que se estimen convenientes de acuerdo con el literal B.2.4.4.
6. La dotación por uso residencial debe incluir el riego de jardines.
7. Las variaciones que sean propuestas por el diseñador a las dotaciones antes establecidas deben estar técnicamente justificadas, teniendo en cuenta aspectos climatológicos y socioeconómicos del municipio.

B.2.3.2 Uso comercial

Para establecer el uso comercial, el diseñador debe utilizar un censo comercial y realizar un estimativo de consumos futuros. El diseñador debe cuantificar y analizar detenidamente la dotación comercial de acuerdo

con las características de dichos establecimientos. Deben estudiarse los consumos puntuales o concentrados de demandas. El uso comercial también incluye el uso en oficinas.

B.2.3.3 Uso industrial

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

B.2.3.4 Uso rural

En caso de que el municipio objeto de la construcción de un nuevo sistema de acueducto o la ampliación del sistema de acueducto existente tenga que abastecer población rural, el diseñador debe utilizar los datos del censo rural y estimar los consumos futuros. El diseñador debe cuantificar y analizar detenidamente la dotación rural de acuerdo con las características establecidas en el censo.

B.2.3.5 Uso para fines públicos

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

B.2.3.6 Uso escolar

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

B.2.3.7 Uso institucional

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

B.2.4 DOTACIÓN NETA

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

Cuando se multiplica la población que va a ser servida por la dotación se obtienen la demanda total de agua; por tal razón la evaluación de la dotación es tan importante como la proyección de la población.

B.2.4.1 Dotación neta mínima y máxima

La dotación neta depende del **nivel de complejidad del sistema** y sus valores mínimo y máximo se establecen de acuerdo con la tabla B.2.2.

TABLA B.2.2
Dotación neta según el Nivel de Complejidad del Sistema

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/hab-día)	Dotación neta máxima (L/hab-día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio alto	130	-
Alto	150	-

En el caso de ampliaciones de sistemas de acueducto, la dotación neta mínima debe fijarse con base en el análisis de los datos de producción y consumo del sistema sin incluir las pérdidas.

La dotación puede obtenerse del consumo medio diario por habitante registrado durante un año. (Véase B.2.7.1)

En aquellos casos en los que exista una carencia notable del recurso agua, pueden tenerse dotaciones netas inferiores a las establecidas en la tabla B.2.2. En éste caso debe tenerse autorización expresa de la DSPD.

B.2.4.2 Estimación de la dotación neta según registros históricos

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

1. Investigar si para la facturación de consumos de agua en el sistema, se tiene instalados macro y micromedición; si estos se tienen, conseguir registros históricos de consumos para los diferentes usos del agua, durante por lo menos un año.

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

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

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

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

B.2.4.3 Estimación de la dotación neta por comparación con poblaciones similares

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

Como última opción y cuando no es factible apelar a ninguno de los métodos anteriores se debe recurrir a asignar con criterio una dotación neta a cada uso del agua. Para el caso de la dotación neta residencial esta asignación debe hacerse dentro de los valores máximos y mínimos descritos en el numeral B.2.4.1

En la evaluación de las dotaciones netas de agua de un municipio se pueden tener tantas dotaciones como usos de agua existan: residencial, comercial, industrial, institucional, fines públicos, escuelas y rurales;

todos los cuales deberán ser considerados en la evaluación de dotaciones y demandas de agua. Sin embargo, es una práctica común de la ingeniería que en sistemas donde los consumos del uso residencial representen más del 90% del consumo total, el cálculo de la demanda de agua se realice únicamente a partir de la dotación neta residencial sumándole a esta un pequeño porcentaje que tenga en cuenta los otros usos agrupados. En caso contrario, el cálculo de la demanda de agua debe hacerse en forma desagregada para cada uno de los usos principales y para cada uno de ellos debe determinarse dotaciones netas.

B.2.4.4 Correcciones a la dotación neta

La dotación neta obtenida en los literales B.2.4.1, B.2.4.2 ó B.2.4.3 puede ajustarse teniendo en cuenta estudios socioeconómicos del municipio, el costo marginal de los servicios y el efecto del clima en el consumo.

En los **niveles bajo y medio de complejidad** este ajuste no puede superar el 20% del valor de la dotación neta establecido inicialmente.

En los **niveles de medio alto y alto de complejidad** puede incrementarse la dotación neta para cierto tipo de consumidores por encima del 20%, siempre y cuando el aumento se produzca únicamente para algún tipo especial de consumo de los mencionados en el literal B.2.3.

B.2.4.4.1 Efecto del tamaño de la población en la dotación neta

Para los **niveles alto y medio alto de complejidad**, la dotación neta puede corregirse teniendo en cuenta el efecto del tamaño de la población en el consumo, considerando que en una población de mayor tamaño pueden existir un número mayor de actividades que requieran agua, tales como máquinas de limpieza, lavado de automóviles, etc. El ajuste por tamaño de población debe ser justificado con registros históricos.

B.2.4.4.2 Efecto del clima en la dotación neta

Teniendo en cuenta el clima predominante en el municipio, el diseñador puede variar la dotación neta establecida anteriormente teniendo en cuenta la tabla B.2.3.

TABLA B.2.3

Variación a la dotación neta según el clima y el Nivel de Complejidad del Sistema

Nivel de complejidad del sistema	Clima cálido (Mas de 28°C)	Clima templado (Entre 20°C y 28°C)	Clima frío (Menos de 20°C)
Bajo	+ 15 %	+ 10%	No se admite Corrección por clima
Medio	+ 15 %	+ 10 %	
Medio alto	+ 20 %	+ 15 %	
Alto	+ 20 %	+ 15 %	

B.2.4.4.3 Corrección por sistema de alcantarillado existente

La dotación neta puede verse afectada por el sistema de alcantarillado en servicio en el municipio. Específicamente, si no existe alcantarillado o si la capacidad del alcantarillado es baja, debe asignarse la dotación mínima. De todas maneras el diseñador debe seguir los diagramas de priorización establecidos en el capítulo A.5.

B.2.5 PÉRDIDAS

B.2.5.1 Pérdidas en la aducción (agua cruda)

Debe establecerse un nivel de pérdidas en la aducción antes de llegar a la planta de tratamiento. El nivel de pérdidas en la aducción debe ser inferior al 5%.

B.2.5.2 Necesidades de la planta de tratamiento

Debe considerarse entre 3% y 5% del caudal medio diario para atender las necesidades de lavado de la planta de tratamiento.

B.2.5.3 Pérdidas en la conducción (agua tratada)

Debe establecerse el nivel de pérdidas en la conducción expresa después de la planta de tratamiento y antes del comienzo de la red de distribución. Esta cantidad debe ser un porcentaje del caudal medio diario, el cual debe ser inferior al 5%.

B.2.5.4 Pérdidas técnicas en el sistema de acueducto

Las pérdidas técnicas corresponden a la diferencia entre el volumen de agua tratada y medida a la salida de la(s) planta(s) potabilizadora(s) y el volumen entregado a la población medido en las acometidas domiciliarias del municipio.

Para estimar el porcentaje de pérdidas técnicas deben tenerse en cuenta los datos registrados disponibles en el municipio sobre pérdidas de agua en el sistema de acueducto desde la(s) planta(s) potabilizadora(s), incluidos los consumos operaciones en la red.

Para los municipios que no tengan registros sobre las pérdidas de agua en el sistema de acueducto, el porcentaje de pérdidas técnicas admisible depende del **nivel de complejidad del sistema**, como se establece en la tabla B.2.4. En este caso, debe ejecutarse un programa de medición con el objeto de establecer el porcentaje de pérdidas del sistema de acueducto desde la(s) planta(s) potabilizadora(s).

TABLA B.2.4
Porcentajes máximos admisibles de pérdidas técnicas

Nivel de complejidad del sistema	Porcentajes máximos admisibles de pérdidas técnicas para el cálculo de la dotación bruta
Bajo	40 %
Medio	30 %
Medio alto	25 %
Alto	20 %

Lo tabla anterior expresa los valores máximos admisibles de las pérdidas técnicas. Sin embargo a la luz del Artículo 6º de la Resolución 1795 de la CRA, todos los sistemas de acueducto están comprometidos a realizar esfuerzos para disminuirlas al máximo pues el nivel máximo de agua no contabilizada que se aceptará para el cálculo de los costos de la prestación del servicio de acueducto será del 30%. De otro lado la Ley 373 de junio de 1997, por la cual se establece el programa para uso eficiente y ahorro del agua, invita a hacer esfuerzos ingentes para reducir las pérdidas de los sistemas de acueducto en el territorio nacional.

B.2.5.5 Pérdidas comerciales

Las pérdidas comerciales se obtienen de la diferencia entre el volumen de agua entregado a la salida de las plantas de tratamiento y el volumen facturado por la empresa de acueducto.

B.2.6 DOTACIÓN BRUTA

La dotación bruta debe establecerse según la siguiente ecuación:

$$d_{\text{bruta}} = \frac{d_{\text{neta}}}{1 - \% p} \quad (\text{B.2.1})$$

El porcentaje de pérdidas técnicas para determinar la dotación bruta no debe ser superior al porcentaje de pérdidas establecido en la tabla B.2.4.

Para efectos del cálculo de la dotación bruta puede adoptarse un porcentaje de pérdidas más alto al establecido, siempre y cuando se justifique económicamente que no resulta factible reducir las pérdidas al valor admisible. En este caso, el sistema de acueducto debe complementarse con un programa de reducción de pérdidas que tenga como meta el valor que resulte menor entre el establecido en la tabla B.2.4 y el que determine la CRA.

B.2.7 DEMANDA

B.2.7.1 Caudal medio diario

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

$$Q_{md} = \frac{p \cdot d_{bruta}}{86400} \quad (\text{B.2.2})$$

B.2.7.2 Caudal máximo diario

El caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k_1 . (Véase B.2.7.4)

El caudal máximo diario se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$QMD = Q_{md} \cdot k_1 \quad (\text{B.2.3})$$

B.2.7.3 Caudal máximo horario

El caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k_2 , (véase B.2.7.5) según la siguiente ecuación

$$QMH = QMD \cdot k_2 \quad (\text{B.2.4})$$

B.2.7.4 Coeficiente de consumo máximo diario - k_1

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

En caso de sistemas nuevos, el coeficiente de consumo máximo diario, k_1 , depende del **nivel de complejidad del sistema** como se establece en la tabla B.2.5.

TABLA B.2.5
Coeficiente de consumo máximo diario, k_1 , según el Nivel de Complejidad del Sistema

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de consumo máximo diario - k_1
Bajo	1.30
Medio	1.30
Medio alto	1.20
Alto	1.20

B.2.7.5 Coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario - k_2

El coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario, k_2 , puede calcularse, para el caso de ampliaciones de 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 ocurran fallas relevantes en el servicio.

En el caso de sistemas de acueductos nuevos, el coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario, k_2 , es función del **nivel de complejidad del sistema** y el tipo de red de distribución, según se establece en la tabla B.2.6.

TABLA B.2.6

Coeficiente de consumo máximo horario, k_2 , según el Nivel de Complejidad del Sistema y el tipo de red de distribución.

Nivel de complejidad del sistema	Red menor de distribución	Red secundaria	Red matriz
Bajo	1.60	-	-
Medio	1.60	1.50	-
Medio alto	1.50	1.45	1.40
Alto	1.50	1.45	1.40

B.2.7.6 Gran consumidor

Para propósitos de esta normatividad se considera que un suscriptor individual es un gran consumidor cuando su demanda media sea mayor que o igual a 3 L/s (260 m³/día).

La identificación de los grandes consumidores debe llevarse a cabo considerando el catastro de suscriptores de la empresa prestadora del servicio municipio, complementado por el desarrollo de encuestas dirigidas a los grandes consumidores identificados, estén atendidos o por atender.

B.2.7.7 Curva de variación horaria de la demanda

Debe establecerse la curva de demanda que defina la variación del consumo a lo largo del día, con el fin de establecer la necesidad y la magnitud de un posible almacenamiento.

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

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

B.2.8 CAUDAL DE INCENDIOS**B.2.8.1 Demanda mínima contra incendios para los niveles bajo y medio de complejidad**

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

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

1. Los hidrantes se instalarán preferiblemente en las tuberías matrices y descargarán un caudal mínimo de 5 L/s.

2. Se recomienda una distancia mínima de 300 metros entre los hidrantes. La disposición final de los hidrantes debe ser recomendada por el diseñador de acuerdo con las exigencias de la zonificación urbana.

B.2.8.2 Demandas mínimas contra incendios para los niveles medio alto y alto de complejidad

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

1. Para zonas residenciales densamente pobladas, edificios multifamiliares, comerciales e industriales de municipios con una población entre 12.500 y 20.000 habitantes, un incendio se considerará servido por un hidrante y las zonas residenciales unifamiliares serán servidas por un hidrante en uso simultáneo con una descarga mínima de 5 L/s.
2. Para zonas residenciales densamente pobladas o zonas con edificios multifamiliares, comerciales e industriales de municipios con poblaciones entre 20.000 y 60.000 habitantes, un incendio debe ser servido por tres hidrantes y las zonas residenciales unifamiliares deben ser servidas por un hidrante en uso simultáneo con una descarga mínima de 5 L/s.
3. Para zonas residenciales densamente pobladas o zonas con edificios multifamiliares, comerciales e industriales de municipios con poblaciones entre 60.000 y 100.000 habitantes, un incendio debe ser servido por tres hidrantes y las zonas residenciales unifamiliares deben ser servidas por dos hidrantes en uso simultáneo con capacidad de descarga mínima de 5 L/s cada uno.
4. Para zonas residenciales densamente pobladas o multifamiliares, comerciales e industriales de municipios con más de 100.000 habitantes, un incendio debe ser servido por cuatro hidrantes y las zonas residenciales unifamiliares deben ser servidas con dos hidrantes en uso simultáneo con capacidad mínima de 10 L/s cada uno.

CAPÍTULO B.3

B.3. FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

B.3.1 ALCANCE

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

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

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

B.3.2 CONSIDERACIONES GENERALES

Cuando se efectúen los estudios de fuentes deben presentarse las alternativas técnico-económicas más factibles, siguiendo los criterios de costo mínimo establecidos en el Capítulo A.6.

La selección de la fuente debe hacerse teniendo en cuenta la calidad del agua y aquella que permita la construcción de una captación económica, segura, confiable y que tenga unas características de acceso, operación y mantenimiento fáciles.

Además, deben efectuarse estudios con el fin de minimizar los efectos sobre el medio ambiente, el ecosistema y el hábitat natural de diferentes especies, que puedan producir las obras de la captación.

B.3.3 FUENTES SUPERFICIALES

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

B.3.3.1 Estudios previos

Para la selección y el desarrollo de una fuente superficial de agua, el diseñador debe llevar a cabo o recolectar los siguientes estudios previos:

B.3.3.1.1 Concepción del proyecto

El diseñador debe presentar todas las alternativas técnico-económicas factibles, de tal manera que pueda aplicarse el criterio de costo mínimo. Para la selección de la fuente superficial debe tenerse en cuenta la calidad del agua en la fuente, tanto química como bacteriológica, y la facilidad de construcción, de manera que se tenga una obra de costo mínimo. Además, deben efectuarse los estudios de impacto ambiental con el fin de minimizar los efectos sobre el medio ambiente y el ecosistema, siguiendo los criterios establecidos por el Ministerio del Medio Ambiente.

B.3.3.1.2 Estudio de la demanda

Para determinar la confiabilidad de una fuente superficial, el diseñador debe realizar los estudios de demanda a que se hace referencia en el capítulo B.2 POBLACIÓN, DOTACIÓN Y DEMANDA de este título.

Las fuentes deben suministrar el consumo de la población estimada para el sistema más las pérdidas en la aducción y las necesidades de agua en la planta de tratamiento.

B.3.3.1.3 Aspectos generales de la zona de la fuente

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

B.3.3.1.4 Estudios topográficos

El diseñador debe contar con toda la información topográfica del área de la fuente. Entre otros aspectos, esta información debe incluir los planos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi en escala 1:20.000, 1:5.000 o 1:2.000, las placas de referencia con cotas y coordenadas para los levantamientos, las fotografías aéreas de la zona aledaña a la fuente, los planos aerofotogramétricos de la región y los planos de catastro de instalaciones de sistemas de infraestructura, como carreteras, líneas de transmisión, oleoductos, industrias, etc.

B.3.3.1.5 Condiciones geológicas y geotécnicas

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

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

B.3.3.1.6 Estudios hidrológicos

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

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

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

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

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

B.3.3.1.7 Fenómeno Recurrente del Pacífico (Fenómeno del Niño)

Debe considerarse la variación en el rendimiento de la fuente debido a los efectos producidos por la ocurrencia del Fenómeno Recurrente del Pacífico. En los años de ocurrencia de este fenómeno, la fuente debe proporcionar el caudal requerido según los literales B.3.3.2.4 y B.3.3.2.5 y debe asegurarse continuidad en el servicio.

B.3.3.1.8 Características del agua cruda

El diseñador debe conocer las características físicas, organolépticas, químicas y bacteriológicas de las aguas de la fuente.

Con el fin de asegurar la calidad del agua en ésta, las muestras para análisis deben extraerse durante las épocas de caudales pico, ya sea el caudal mínimo mensual o el caudal máximo mensual, en todos los posibles sitios de ubicación de las obras de captación y en los afluentes importantes localizados en las cercanías, aguas arriba del sitio de la fuente.

B.3.3.1.9 Otros

También debe conocer las condiciones sanitarias de la cuenca, en especial en los posibles sitios de localización de la captación.

B.3.3.2 Características de la fuente

Para proceder a la elección de una nueva obra de captación, el diseñador debe tener en cuenta los siguientes aspectos entre otros: características propias de la fuente en lo que respecta a su rendimiento, seguridad de calidad de aguas, condiciones topográficas y geológicas y las condiciones económicas del proyecto.

B.3.3.2.1 Calidad del agua de la fuente

La calidad de la fuente debe caracterizarse de la manera más completa posible para poder identificar el tipo de tratamiento que necesita y los parámetros principales de interés en periodo seco y de lluvia. Además, la fuente debe cumplir con lo exigido en el Decreto 1594 del 26 de junio de 1984, en sus artículos 37 y 38, o en su ausencia el que lo reemplace. Los análisis de laboratorio y los muestreos deben realizarse de acuerdo con la normatividad vigente (Normas NTC-ISO 5667). En la tabla B.2.1 se presenta la clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros mínimos de análisis físico-químicos y microbiológicos, y el grado de tratamiento asociado.

TABLA B.2.1.
Calidad de la fuente

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 – 4	>4
Máximo diario mg/L			1 – 3	3 - 4	4 – 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0 – 50	50 - 500	500 – 5000	>5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	≥4	≥4	≥4	<4
PH promedio	3651	D 1293	6.0 – 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	<2	2 - 40	40 – 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			<10	10 -20	20 – 40	≥ 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 – 200	300
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	<1.2	<1.2	<1.2	>1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
- Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación+ Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

La Tabla B.2.2 muestra algunos valores máximos admisibles de las normas microbiológicas, organolépticas, físicas y químicas de la calidad del agua potable que, de acuerdo al Decreto 475/98, expedido por los Ministerios de Salud y de Desarrollo Económico, se deben cumplir en todo el territorio nacional en la red de distribución de los sistemas de acueducto independiente de su nivel de complejidad. La misma tabla contiene los parámetros de comparación mínimos recomendados para caracterizar el agua de la fuente superficial o subterránea, según su nivel de calidad.

TABLA C.2.2
Normas de calidad del agua potable, según el Decreto 475/98

Características	Valor máximo Admisible	Procedimientos analíticos recomendados		Parámetros de comparación de la calidad de la fuente recomendados según el nivel calidad de la fuente			
		Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Aceptable	2. Regular	3. Deficiente	4. Muy deficiente
MICROBIOLÓGICAS							
Coliformes totales UFC/100 cc	0			X	X	X	X
Escherichia coli UFC/100 cc	0		D 5392			X	X
ORGANOLÉPTICAS Y FÍSICAS							
pH	6.5 – 9.0		D 1293	X	X	X	X
Turbiedad UNT	5	4707	D 1889	X	X	X	X
Color verdadero – UC	15			X	X	X	X
Conductividad US/cm	50 – 1.000		D 1125	X	X	X	X
Sustancias flotantes	Ausentes			X	X	X	X
Olor y sabor	Ninguno		D 1292	X	X	X	X
QUÍMICAS CON EFECTOS ADVERSOS EN LA SALUD HUMANA							
Fenoles totales – mg/L	0.001	4582	D 1783				X
Grasas y aceites– mg/L	Ausentes	3362	D 4281				X
Aluminio – mg/L	0.20		D 857				X
Nitratos – mg/L	10		D 3867				X
Nitritos – mg/L	0.1		D 3867	X	X	X	X
Antimonio – mg/L	0.005		D 3697				X
Arsénico – mg/L	0.01		D 2972				X
Bario– mg/L	0.5		D 4382				X
Cadmio – mg/L	0.003		D 3557				X
Cianuros totales – mg/L	0.1	1312	D 2036				X
Cobre – mg/L	1.0		D 1688				X
Cromo hexavalente – mg/L	0.01		D 1687				X
Mercurio – mg/L	0.001		D 3223				X
Níquel – mg/L	0.02		D 1886				X
Plomo – mg/L	0.01		D3559				X
Selenio – mg/L	0.01	1460	D 3859				X
Sustancias activas al azul de metileno– mg/L AB5	0.5		D 2330				X
PLAGUICIDAS Y OTRAS SUSTANCIAS							
Tóxicos tipo I– mg/L	0.001						X
Tóxico tipo II y III– mg/L	0.01						X
Baja toxicidad– mg/L	0.1						X
Trihalometanos totales– mg/L	0.1						X
QUÍMICAS CON EFECTO INDIRECTO SOBRE LA SALUD HUMANA							
Alcalinidad total – mg/L	100		D 1067	X	X	X	X
Acidez – mg/L	50		D 1067	X	X	X	X
Dureza total– mg/L	160	4706	D 1126	X	X	X	X
Calcio– mg/L	60		D 511	X	X	X	X
Magnesio– mg/L	36		D 858	X	X	X	X
Cloruros– mg/L	250		D 512	X	X	X	X
Sulfatos – mg/L	250	4708	D 516	X	X	X	X
Hierro total– mg/L	0.3		D 1068	X	X	X	X
Manganeso	0.1		D 858			X	X
Fosfatos	0.2		D 515			X	X
Zinc	5		D 1691				X
Fluoruros (mg/L)	1.2		D 1179				X

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

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

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

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

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

B.3.3.2.2 Muestreo

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

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

TABLA B.3.3
Normas técnicas que deben seguirse en los muestreos

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

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

B.3.3.2.3 Seguridad en la calidad de las aguas crudas

Para la elección de una fuente superficial el diseñador debe prestar especial atención a las posibles fuentes de contaminación, considerando las siguientes observaciones:

1. En las captaciones hechas en ríos las aguas tienden a ser turbias, algunas veces coloreadas y en la gran mayoría de los casos reciben la descarga de aguas residuales, tanto domésticas como industriales que se han vertido aguas arriba. Las fuentes que toman aguas de lagos son generalmente más claras que las aguas de ríos, pero también están sujetas a la contaminación.

2. Las fuentes de agua localizadas en ríos pequeños y en quebradas de montaña frecuentemente son limpias y puras; en estado natural son apropiadas para el consumo humano. No obstante, estas aguas están fácilmente expuestas a contaminación por acción eventual. Por consiguiente, no pueden considerarse potables a menos que se tomen las medidas apropiadas para su protección: instalación de plantas de tratamiento de agua, vigilancia de la cuenca, colocación de carteles o letreros y/o cercas para impedir la invasión de personas y/o animales.
3. En todos aquellos casos en que se proyecten lagos artificiales mediante la construcción de embalses, deben tenerse en cuenta las condiciones futuras de la calidad del agua almacenada.

B.3.3.2.4 Continuidad de la fuente

Una fuente debe ser capaz de suministrar continuamente una cantidad adecuada de agua con un riesgo de interrupción mínimo.

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

B.3.3.2.5 Cantidad y caudal mínimo

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

Si el caudal Q_{95} en la fuente es insuficiente para cumplir el requerimiento anterior, pero el caudal promedio durante un período que abarque el intervalo más seco del que se tenga registro es suficiente para cubrir la demanda, ésta puede satisfacerse mediante la construcción de uno o más embalses o tanques de reserva.

B.3.3.2.6 Caudal mínimo aguas abajo

En todos los casos, la fuente debe tener un caudal tal que garantice un caudal mínimo remanente aguas abajo de las estructuras de toma con el fin de no interferir con otros proyectos, tanto de captación como de agricultura y piscicultura, preservando en todos los casos el ecosistema aguas abajo. Por consiguiente, el diseñador debe conocer los proyectos presentes y futuros que utilicen agua de la misma fuente del proyecto que está diseñando o construyendo.

B.3.3.3 Aspectos adicionales

B.3.3.3.1 Protección de las fuentes

El diseñador debe proponer acciones y mecanismos para garantizar la protección de las fuentes hacia el futuro. Debe tener en cuenta todas las leyes, decretos, reglamentos y/o normas relacionadas con la protección de fuentes de agua.

En particular, debe observarse lo establecido en el artículo 57 de la ley 09 de 1979, o su equivalente en la Ley que la reemplace, el cual establece que las entidades encargadas de la entrega de agua potable al usuario velarán por la conservación y el control en la utilización de la fuente de abastecimiento para evitar el crecimiento inadecuado de organismos, la presencia de animales y la posible contaminación por otras causas.

B.3.3.3.2 Valor económico del agua

En todos los casos la fuente debe analizarse con un criterio económico, en cuanto los cuerpos de agua pueden tener uso como materia prima (cantidad, calidad y accesibilidad) así como en la descarga de aguas residuales.

Debe atenderse lo establecido en la Ley 142 de 1994, o la que la reemplace, que establece que : “Como estos costos se incorporarán a las tarifas que las empresas cobren a los usuarios, los montos recolectados

por este concepto deben ser previamente concertados y su destino debe ser orientado por las corporaciones regionales a la recuperación y reforestación de los cuerpos de agua y de las cuencas”.

B.3.3.3.3 Manejo integral y protección de las cuencas

El diseñador debe observar todas las leyes, decretos, reglamentos y/o normas existentes con el objeto de garantizar el manejo integral y la protección de las cuencas en las cuales se localice la fuente de agua.

En particular, debe observarse lo establecido por el artículo 43 de la Ley 99 de 1993, o la que la reemplace, que establece que: “El proyecto debe presentar un costo de recuperación, preservación y vigilancia de la cuenca hidrográfica, considerando una tasa retributiva mínima del 1% de la inversión estimada en la obra física”.

B.3.3.3.4 Concesiones a corporaciones regionales

El diseñador debe tener en cuenta las concesiones otorgadas por corporaciones regionales encargadas de la cuenca en la cual se localicen las fuentes de agua.

En particular debe tener en cuenta la ley 142 de 1994, o la que la reemplace, que establece en su artículo 25 lo siguiente: “Quienes presten servicios públicos requieren contratos de concesión de acuerdo con la ley para utilizar el agua”. “Además, deben (las empresas de servicios públicos) obtener los permisos ambientales y sanitarios que la índole misma de sus actividades haga necesarios”.

También debe observarse lo establecido en el artículo 39.1 de la ley 142 de 1994, o la que la reemplace, sobre Contratos Especiales, el cual establece lo siguiente: “Contratos de concesión de agua, recursos naturales o del medio ambiente. El contrato de concesión de aguas es un contrato limitado en el tiempo, que celebran las entidades a las que les corresponde la responsabilidad de administrar aquellas, para facilitar su explotación y disfrute. En estos contratos se pueden establecer las condiciones en las que el concesionario devolverá el agua después de haberla usado”. “Las concesiones de agua caducarán a los 3 años de otorgadas si en ese lapso no se hubieren hecho inversiones capaces de permitir su aprovechamiento económico dentro del año siguiente, o del período que determine la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico”.

B.3.4 FUENTES SUBTERRÁNEAS

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

B.3.4.1.1 Concepción del proyecto

Para justificar el uso de una fuente subterránea de agua, el diseñador debe presentar todas las alternativas técnico-económicas con el fin de escoger la más factible desde el punto de vista de costo mínimo. La selección debe hacerse teniendo en cuenta la calidad del agua en la fuente subterránea y las características que permitan una construcción económica de la obra de aprovechamiento.

B.3.4.1.2 Aspectos generales de la zona

En el caso de una fuente subterránea, además de los aspectos establecidos en el literal B.3.3.1.3 de este título, el diseñador debe conocer o hacer un inventario y análisis de todos los pozos existentes en la zona, que incluya la ubicación, el rendimiento, las variaciones de nivel y el abatimiento del nivel freático. También debe conocer la litología y la calidad de agua en el subsuelo.

B.3.4.1.3 Estudios topográficos

Además de lo establecido en el literal B.3.3.1.4 de este título, el diseñador debe tener un plano topográfico a escala adecuada con la localización de las obras de los pozos existentes y el registro de los niveles de drenajes actuales y los niveles piezométricos.

B.3.4.1.4 Condiciones geológicas

Además de lo establecido en el literal B.3.3.1.5 de este título, el diseñador debe obtener la información fotogeológica, los estudios paleográficos, la delimitación de fallas, y los sondeos correspondientes a la zona del proyecto. Debe seguirse lo establecido en la norma AWWA A-100, sección 2 para las investigaciones geológicas.

B.3.4.1.5 Estudios hidrológicos

Además de lo establecido en el literal B.3.3.1.6 de este título, el diseñador debe hacer un balance hídrico de aguas subterráneas. Debe obtenerse toda la información referente a los niveles freáticos en la zona de la fuente subterránea.

B.3.4.1.6 Estudios hidrogeológicos

El diseñador debe desarrollar estudios hidrogeológicos que contengan la información básica geofísica y geológica de los acuíferos, características hidráulicas y la calidad del agua.

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

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

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

B.3.4.2 Características de la fuente

B.3.4.2.1 Calidad del agua

Además de lo establecido en el literal B.3.3.2.1 de este título, el diseñador debe hacer un análisis de la calidad del agua en los diferentes ambientes de depósitos subterráneos. Debe asegurarse de que exista un perímetro de seguridad sanitario alrededor de la zona de la fuente subterránea dentro del cual no se permitan actividades que produzcan infiltración de contaminantes en el acuífero. Los programas para determinar la calidad del agua pueden hacerse de acuerdo a la norma técnica GTC 30.

B.3.4.2.2 Muestreos

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

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

B.3.4.2.3 Capacidad de la fuente subterránea

La capacidad de la fuente subterránea debe ser igual al caudal máximo diario cuando se tenga almacenamiento, y al consumo máximo horario cuando no se tenga almacenamiento. En ambos casos deben incluirse las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto.

B.3.4.2.4 Rendimiento y niveles del acuífero

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

B.3.4.2.5 Recarga artificial

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

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

B.3.4.3 Aspectos adicionales

B.3.4.3.1 Protección de las fuentes

Además de lo establecido en el literal B.3.3.3.1 debe asegurarse un perímetro sanitario alrededor de cada uno de los pozos de explotación de la fuente subterránea, con el fin de garantizar la no contaminación de las aguas subterráneas.

B.3.4.3.2 Valor económico del agua

Debe observarse todo lo establecido en el literal B.3.3.3.2 de este título.

B.3.4.3.3 Manejo integral y protección de cuencas

Debe observarse todo lo establecido en el literal B.3.3.3.3 de este título.

B.3.4.3.4 Concesiones otorgadas por corporaciones regionales

Debe observarse todo lo establecido en el literal B.3.3.3.4 de este título.

B.3.4.3.5 Control de filtración del agua superficial

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

CAPÍTULO B.4

B.4. CAPTACIONES DE AGUA SUPERFICIAL

B.4.1 ALCANCE

En este literal se determinan las condiciones generales para captaciones localizadas en fuentes superficiales tales como las descritas en el literal B.3.3 de este título. Se establecen los estudios previos, las condiciones generales, los parámetros de diseño, los aspectos de la puesta en marcha, los aspectos de la operación y los aspectos de mantenimiento de captaciones de fuentes superficiales que deben ser tenidos en cuenta por los consultores y/o constructores que estén realizando el diseño y/o la construcción de este tipo de obras.

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

B.4.2 ESTUDIOS PREVIOS

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

B.4.2.1 Concepción del proyecto

Durante la concepción del proyecto, el diseñador debe establecer condiciones generales de diseño y la localización de la captación.

B.4.2.1.1 Justificación del uso de la fuente

Como regla, las aguas superficiales deben utilizarse en aquellos casos en que no se disponga de suficiente agua en las fuentes de agua subterránea o cuando éstas sean de una calidad inadecuada para el consumo humano.

La mayor posibilidad de contaminación química y bacteriológica de las aguas superficiales hace que sea necesario tener en cuenta todas las previsiones posibles. En general es necesario someter las aguas a un proceso de depuración y desinfección completo con el fin que sean aptas para el consumo humano, según los métodos establecidos en el Título C - Sistemas de Potabilización.

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

B.4.2.1.2 Marco institucional

Deben tenerse en cuenta todas las leyes, decretos, reglamentos y/o normas existentes en el Ministerio de Desarrollo, el Ministerio de Salud Pública, el Ministerio del Medio Ambiente, los departamentos, los municipios, las corporaciones autónomas regionales y las empresas de servicios públicos, relacionados con el consumo de agua potable.

En particular debe considerarse la ley 09 de 1979, o la que la reemplace, en su artículo 59 el cual establece lo siguiente: "No se permitirán concentraciones humanas ocasionales cerca de las fuentes de agua para el consumo humano, cuando causen o puedan causar contaminación".

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

B.4.2.2 Estudio de la demanda

Debe tenerse presente todo lo establecido en el capítulo B.2 POBLACIÓN, DOTACIÓN Y DEMANDA, de este título.

B.4.2.3 Aspectos generales de la zona

Debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.3.3.1.3 de este Título. Además, el diseñador debe hacer un estudio geomorfológico de las corrientes en donde se planea localizar la captación.

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

B.4.2.4 Estudios topográficos

Debe seguirse lo establecido en el literal B.3.3.1.4 de este título.

B.4.2.5 Condiciones geológicas

Debe seguirse lo establecido en el literal B.3.3.1.5 de este título.

B.4.2.6 Estudios hidrológicos

Debe seguirse lo establecido en el literal B.3.3.1.6 de este título.

B.4.3 CONDICIONES GENERALES**B.4.3.1 Tipos de captaciones**

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

B.4.3.1.1 Toma lateral

Aconsejable en el caso de ríos caudalosos de gran pendiente y con reducidas variaciones de nivel a lo largo del período hidrológico. En este tipo de captación la estructura se ubicará en la orilla y a una altura conveniente sobre el fondo.

B.4.3.1.2 Toma sumergida

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

B.4.3.1.3 Captación flotante con elevación mecánica

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

B.4.3.1.4 Captación móvil con elevación mecánica

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

B.4.3.1.5 Captación mixta

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

B.4.3.1.6 Toma de rejilla

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

B.4.3.1.7 Presa de derivación

Este tipo de captación es aconsejable, por razones económicas, en cursos de agua preferentemente angostos y cuando se presentan prolongadas épocas de niveles bajos; la presa tiene como objetivo elevar el nivel del agua de modo que éste garantice una altura adecuada y constante sobre la boca de captación. De acuerdo con las necesidades de abastecimiento y con el régimen de alimentación, se pueden proyectar torres de toma como sistemas de captación en lagos, lagunas y embalses, las cuales tendrán entradas situadas a diferentes niveles, con el fin de poder seleccionar la profundidad a la que se capte el agua.

B.4.3.1.8 Cámara de toma directa

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

B.4.3.1.9 Muelle de toma

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

B.4.3.1.10 Otras captaciones:

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

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

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

B.4.3.2 Ubicación de la captación

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

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

B.4.3.3 Seguridad

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

B.4.3.4 Estabilidad

Las estructuras de captación deben ser estables con respecto a la calidad del suelo de cimentación aún en el caso de las máximas crecientes. Además, la estructura también debe ser estable cuando se presenten fallas de origen geotécnico o geológico en las cercanías a la captación. Igualmente las estructuras deben ser estables para el sismo de diseño correspondiente a la zona de amenaza sísmica en que se encuentre ubicado el municipio objeto de la captación de agua para su sistema de acueducto, de acuerdo con la NSR-98.

B.4.3.5 Análisis de costo mínimo

Teniendo en cuenta lo establecido en el capítulo A.7, referente a los análisis de costo mínimo, debe hacerse un análisis de costo mínimo para las obras de captación, según la tabla B.4.1

TABLA B.4.1
Requerimientos de un análisis de costo mínimo

Nivel de Complejidad del Sistema	Requerimientos
Alto	Obligatorio, incluida la consideración de una ampliación por etapas
Medio Alto	Obligatorio
Medio	Recomendado
Bajo	No se requiere

B.4.3.6 Facilidad de operación y mantenimiento

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

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

B.4.3.7 Lejanía de toda fuente de contaminación

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

B.4.3.8 Aprovechamiento de la infraestructura existente

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

B.4.3.9 Interferencia a la navegación

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

B.4.3.10 Desviación de cursos

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

B.4.3.11 Accesos

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

B.4.3.12 Cerramientos

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

B.4.3.13 Iluminación

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

B.4.3.14 Vulnerabilidad y confiabilidad

Debe hacerse un estudio para establecer el nivel de vulnerabilidad de la estructura de toma, según lo establecido en el capítulo G.7 - Vulnerabilidad y Reducción de Riesgos. En caso de tener una alta vulnerabilidad, el sistema de toma debe ser redundante para las estructuras pertenecientes a los **niveles medio alto y alto de complejidad**.

B.4.4 PARÁMETROS DE DISEÑO**B.4.4.1 Período de diseño**

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

Para el caso de las obras de captación, los periodos de diseño se especifican en la tabla B.4.2.

TABLA B.4.2
Período de diseño según el Nivel de Complejidad del Sistema

Nivel de Complejidad del Sistema	Período de diseño
Bajo	15 años
Medio	20 años
Medio alto	25 años
Alto	30 años

Para los niveles de complejidad medio alto y alto, las obras de captación de agua superficial deberán ser analizadas y evaluadas teniendo en cuenta el período de diseño máximo, llamado también horizonte de planeamiento de proyecto; y si técnicamente es posible, se deberán definir las etapas de construcción, según las necesidades del proyecto, basados en la metodología de costo mínimo tal como se recomienda en el literal B.4.3.5.

B.4.4.2 Capacidad de diseño

Para los niveles **bajo y medio de complejidad**, la capacidad de las estructuras de toma debe ser igual al caudal máximo diario, más la pérdidas en la aducción y las necesidades en la planta de tratamiento, si existe almacenamiento, o igual al caudal máximo horario si no existe almacenamiento.

Para el **nivel medio alto de complejidad**, la capacidad de diseño de las estructuras de captación debe ser igual a 1.5 veces el caudal máximo diario.

Para el **nivel alto de complejidad**, la capacidad de diseño de las obras de captación debe ser igual a 2 veces el caudal máximo diario.

B.4.4.3 Canales de aducción

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

Debe tratar de evitarse todo flujo en canales cercano al estado de flujo crítico. Las velocidades del flujo deben ser tales que no se produzcan sedimentaciones ni erosiones en los canales que forman parte de la estructura de captación.

B.4.4.3.1 Método de cálculo

Para los cálculos hidráulicos y los diseños de canales puede utilizarse la ecuación de Manning, la ecuación de Kutter modificada o la de Bazin. También puede utilizarse la ecuación de Chèzy.

B.4.4.3.2 Velocidades máximas en los canales de aducción

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

TABLA B.4.3
Velocidades máximas

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

B.4.4.3.3 Velocidades mínimas en canales de aducción

Con respecto a las velocidades mínimas con las que pueden operar los canales de las captaciones, éstas deben estar dadas en función de la profundidad del flujo y del tipo de limo en suspensión para evitar sedimentación.

B.4.4.3.4 Forma de la sección transversal

En los casos de canales para estructuras de captación, debe adoptarse una sección transversal rectangular o trapezoidal. Las proporciones definitivas de la sección transversal deben adoptarse teniendo en cuenta un criterio de costo mínimo para el canal.

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

B.4.4.3.5 Pendientes laterales

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

TABLA B.4.4
Ángulo de taludes según el terreno

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

B.4.4.4 Filtros de toma

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

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

B.4.4.4.1 Superficie filtrante

La superficie filtrante debe calcularse teniendo en cuenta la carrera del filtro, de modo que sea posible un mantenimiento adecuado en función de la cantidad del material en suspensión de las aguas en la zona de captación. Con fines de diseño, y para determinar las pérdidas de cabeza de diseño, debe suponerse una colmatación del filtro del 30%.

B.4.4.4.2 Materiales para filtros

Con respecto a los materiales en que se construyan los filtros de toma, pueden utilizarse tuberías de hierro galvanizado, de acero inoxidable, plásticas o de aleaciones especiales.

B.4.4.4.3 Tipo de material

La elección del tipo de material del filtro está dada en función del grado de agresividad de las aguas en la captación.

B.4.4.5 Rejillas

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

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

B.4.4.5.1 Elementos de diseño

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

B.4.4.5.2 **Inclinación de las rejillas**

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

B.4.4.5.3 **Separación entre barrotos**

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

B.4.4.5.4 **Ancho de la rejilla**

El ancho de la rejilla debe depender del ancho total de la estructura de captación.

B.4.4.5.5 **Velocidad del flujo en la rejilla**

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

B.4.4.5.6 **Coefficiente de pérdidas menores de la rejilla**

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

$$H = K \frac{V^2}{2g} \quad (\text{B.4.1})$$

donde :

K debe calcularse de la siguiente forma:

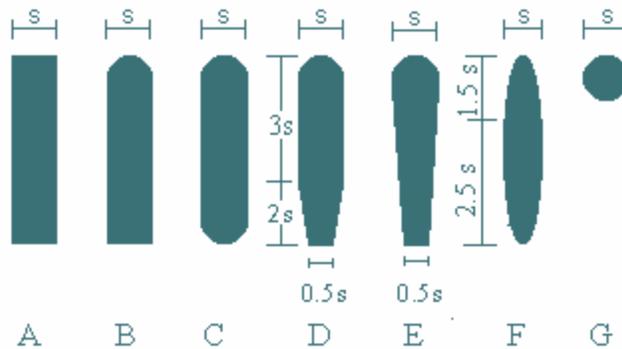
$$K = \beta \cdot \left(\frac{S}{b} \right)^{1.33} \cdot \text{Sen}\alpha \quad (\text{B.4.2})$$

donde β debe obtenerse de la tabla B.4.5, en conjunto con la figura B.4.1.

TABLA B.4.5
Coefficiente de pérdida para rejillas

Sección transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

FIGURA B.4.1
Diferentes formas de barros de rejillas



Sin embargo, para el caso de los niveles **bajo y medio de complejidad**, puede considerarse que el coeficiente de pérdidas menores varía entre 0.5 y 0.7.

B.4.4.6 Desarenadores

Siempre que sea necesario debe instalarse un desarenador en el primer tramo de la aducción, lo más cerca posible a la captación del agua. Preferiblemente debe existir un desarenador con dos módulos que operen de forma independiente, cada uno de ellos dimensionado para el caudal medio diario (Qmd) ante la posibilidad de que uno de los dos quede fuera de servicio.

En el caso de los niveles **bajo y medio de complejidad**, puede prescindirse del desarenador cuando se compruebe que el transporte de sólidos sedimentables no es perjudicial para el sistema de abastecimiento de agua.

B.4.4.6.1 Ubicación

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

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

B.4.4.6.2 Capacidad hidráulica

Cada desarenador debe tener una capacidad hidráulica igual al caudal máximo diario (QMD) más las pérdidas que ocurran en el sistema y las necesidades de la planta de tratamiento.

B.4.4.6.3 Velocidad de sedimentación

La velocidad de asentamiento vertical debe calcularse en función de la temperatura del agua y el peso específico de la partícula. El peso específico de las partículas de arena que serán removidas por el desarenador se puede suponer igual a 2.65 gr/cm^3 .

La velocidad de asentamiento vertical puede ser estimada utilizando la siguiente ecuación

$$v = \frac{(\rho_s - \rho) \cdot d^2 \cdot g}{18 \cdot \mu} \quad (\text{B.4.3})$$

De todas maneras la relación entre la velocidad horizontal y la velocidad de asentamiento vertical debe ser inferior a 20.

B.4.4.6.4 Dimensionamiento

Se recomienda que la relación entre la longitud útil del desarenador y la profundidad efectiva para almacenamiento de arena sea 10 a 1.

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

El diseñador debe determinar y justificar la ubicación y las características de los desagües, teniendo en cuenta la profundidad efectiva del desarenador.

B.4.4.6.5 Influencia de los procesos de tratamiento posterior al desarenador

Teniendo en cuenta la calidad del agua de la fuente y según se someta o no a los procesos de tratamiento de coagulación y filtración en la planta de tratamiento, el diseño de un desarenador debe cumplir los siguientes requisitos, según sea el caso:

1. Aguas sin tratamiento posterior

Para el caso de aguas sin tratamiento posterior, la velocidad máxima horizontal en el desarenador debe ser 0.17 m/s. Deben removerse las partículas con diámetros mayores que o iguales a 0.1 milímetros y la eficiencia del desarenador no puede ser menos del 75%.

2. Aguas sometidas a un tratamiento posterior

En el caso de aguas sometidas a tratamiento posterior al desarenador, la velocidad horizontal máxima en este será 0.25 m/s. Deben removerse las partículas con diámetros superiores o iguales a 0.2 milímetros y la eficiencia del desarenador no puede ser menos del 75%.

B.4.4.6.6 Accesorios y dispositivos

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

1. Deben proyectarse los dispositivos de entrada y salida de modo que aseguren una buena distribución del flujo y se reduzca a un mínimo la posibilidad de corto circuito dentro del desarenador.
2. La tubería o canal de llegada debe colocarse en el eje longitudinal del desarenador. Igual sucede en el caso de un canal situado aguas arriba del desarenador.
3. En la entrada debe instalarse un dispositivo para distribuir uniformemente el flujo a lo ancho de la sección transversal del desarenador.
4. El dispositivo de salida debe tener un canal recolector provisto de un vertedero que asegure una distribución uniforme del flujo en toda la sección transversal del desarenador.
5. La altura del canal recolector sobre la entrada de la tubería de conducción debe ser suficiente para garantizar la cabeza de velocidad necesaria para el caudal de diseño.
6. El dispositivo de rebose debe tener un vertedero lateral ubicado cerca de la entrada del desarenador.
7. El dispositivo de limpieza debe ubicarse en el área de almacenamiento y constará de una caja o canal de recolección de arenas con una pendiente mínima del 5 % y una válvula.
8. La pendiente de la placa de fondo estará comprendida entre el 5 y el 8% con el fin de obtener una limpieza eficiente y permitir que los obreros caminen sin resbalar.

9. Las tuberías o canales de rebose y/o limpieza se unirán a una tubería o canal de descarga, los cuales deben tener un diámetro o ancho no menor de 0.25 metros y/o una pendiente no menor del 2%.
10. Debe ubicarse una caja de inspección en la tubería de limpieza adyacente o lo más cerca posible de la descarga de arenas.

B.4.4.6.7 Desarenadores con niveles variables

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

B.4.4.6.8 Desarenadores con remoción manual

En el caso de que se tengan desarenadores con procesos manuales para la remoción de arena, el depósito de arena debe ser capaz de acumular un mínimo equivalente al 10% del volumen total del desarenador. El desarenador debe tener un ancho mínimo que permita el acceso y el libre movimiento de los operadores y del equipo auxiliar de limpieza.

B.4.4.7 Aspectos particulares de las captaciones laterales

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

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

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

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

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

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

La bocatoma debe estar provista de dos rejillas. La primera de ellas tendrá una separación entre barrotes de 20 mm a 25 mm, cuya finalidad es impedir el acceso de los elementos más gruesos o flotantes. La segunda tendrá una malla de 3 mm aproximadamente, la cual tendrá como fin evitar el acceso de los elementos de arrastre y los peces.

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

B.4.4.8 Aspectos particulares de las captaciones sumergidas

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

1. La toma consiste fundamentalmente en uno o dos conductos cuando la importancia del municipio por abastecer lo justifique. El conducto o los conductos deben enterrarse en el lecho del río en el sentido transversal a la dirección de la corriente, terminando generalmente en un tubo de filtro o cámara sumergida.

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

B.4.4.9 Aspectos particulares de las captaciones flotantes y las captaciones móviles con elevación mecánica

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

1. La impulsión debe ser flexible con el fin de absorber todos los alargamientos debidos a las variaciones de nivel del agua en el río.
2. En caso de que el equipo de bombeo y el filtro estén ubicados sobre una misma plataforma flotante, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:
 - a) Estas estaciones consisten en una estructura flotante cuyas dimensiones serán adoptadas en función del tamaño y el peso del equipo de bombeo.
 - b) Normalmente es aconsejable el empleo de bombas centrífugas por su menor tamaño, peso y costo inicial.
 - c) Es recomendable emplear en el cálculo un amplio margen de seguridad de flotación, verificando el par estabilizante, con el fin de lograr una mayor estabilidad. La balsa o elemento flotante debe anclarse en tres puntos, dos de los cuales deben ir en tierra firme o en bloques de concreto instalados en forma permanente en el lecho del río.
3. En caso de que el equipo de bombeo se encuentre ubicado en una de las orillas y el filtro sobre la estructura flotante, deben observarse los siguientes aspectos:
 - a) Tanto la bomba como el motor deben ubicarse por encima del nivel de aguas máximas, de modo que la altura de succión no sobrepase los límites aconsejables al producirse el nivel de aguas mínimas. Esto evitará problemas de cavitación.
 - b) En la cámara de bombeo debe preverse un dispositivo de ventilación, para permitir una correcta aireación del recinto.

- c) El planchón flotante debe anclarse de manera que se eviten los posibles desplazamientos laterales y a una distancia de la orilla compatible con la sumergencia del filtro de la tubería de succión.
4. En ambos casos el conducto de succión debe ser capaz de resistir sin deformaciones los esfuerzos de flexión a que pueda estar sometido.
5. La sumergencia del filtro debe adecuarse de modo que se evite la captación de desechos flotantes, algas u otros elementos que se encuentren en la superficie del agua, así como la posibilidad de aspirar agua turbia o con algún contenido de materia orgánica en descomposición desde el fondo del río en ciertas épocas del año.

B.4.4.10 Aspectos particulares de las captaciones de rejilla.

En caso de que la obra de captación involucre una toma de rejilla deben cumplirse los siguientes requisitos:

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

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

B.4.4.11 Aspectos particulares de las captaciones con presas derivadoras

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

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

B.4.4.12 Aspectos particulares de las captaciones en toma directa.

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

1. La toma directa debe tener una cámara de succión localizada en una de las orillas del río, y una abertura ubicada paralelamente al sentido de la corriente. Dicha abertura estará protegida mediante las rejillas adecuadas.
2. La cámara de succión debe estar emplazada preferiblemente en tramos rectos y en la orilla que presente una mayor profundidad.
3. La apertura de la toma directa debe localizarse por debajo del nivel mínimo de estiaje en el río y a una distancia superior a 0.3 metros por encima del nivel del lecho con el fin de evitar remociones del material del fondo.
4. En caso de que los factores económicos aconsejen la instalación de bombas de pozo profundo, los motores de las mismas estarán localizados por encima del nivel de la creciente máxima del período de retorno adoptado para el proyecto y las bombas deberán tener una sumergencia adecuada, a no ser que sean del tipo turbo bombas con motor sumergible.
5. En caso de que se adopten bombas exteriores debe ponerse especial atención a los límites de succión aconsejable en los periodos de estiaje, con el fin de minimizar los riesgos de cavitación en la tubería de succión.
6. Las velocidades mínimas en la succión deben ser superiores a las velocidades de asentamiento.
7. En caso de instalarse más de una bomba se tendrá en cuenta la distancia entre ellas, con el fin de evitar interferencias mutuas durante el funcionamiento.

B.4.4.13 Aspectos particulares de las captaciones con muelles de toma

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

1. Un muelle de toma debe tener un elemento que sirve de soporte a la tubería de toma hasta el lugar apropiado para que cumpla su objetivo, generalmente alejado de la orilla.
2. El muelle estará emplazado en una zona no afectada por erosiones o por depósitos de material aluvial.
3. En general conviene disponer de bombas de eje vertical. En este caso debe tenerse en cuenta que el motor de la bomba quede por encima del nivel de la máxima creciente con período de retorno igual al período del proyecto y que además la bomba logre una sumergencia adecuada para su correcto funcionamiento.
4. Si los factores de índice económico exigen la adopción de bombas no sumergibles, se tendrán en cuenta los límites aconsejables para la succión en los periodos de estiaje, con el fin de prevenir posibles problemas de cavitación en la tubería de succión.
5. La obra de toma debe estar protegida mediante rejas perimetrales. La velocidad de flujo a través de ellas debe oscilar alrededor de 50 mm/s con el fin de evitar que los elementos gruesos flotantes giren hacia ella.
6. En ciertos casos puede resultar aconsejable reemplazar el cerramiento perimetral citado en el literal anterior mediante la adopción de una tubería camisa provista de rejas gruesas y finas con mecanismos de elevación para limpieza.
7. En el caso de ríos navegables, el muelle debe estar convenientemente anclado.
8. Debe establecerse la estabilidad de la estructura en el caso de crecientes.

B.4.4.14 Embalses

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

1. La cuenca tendrá un área y una precipitación neta suficientes para proveer los caudales requeridos durante todo el período de diseño.
2. La topografía de la zona destinada para el embalse debe proveer suficiente almacenamiento con un costo mínimo y un buen sitio para ubicar el vertedero de excesos. En todos los casos que involucren embalses, debe llevarse a cabo un análisis de costo mínimo, como se describe en el título A.
3. La geología del embalse debe tener entre otras las siguientes características:
 - a) Debe proveer los materiales convenientes para la construcción de la presa.
 - b) Debe tener una capacidad portante adecuada para una cimentación segura de la presa y el vertedero de excesos.
 - c) Debe tener una impermeabilidad suficiente de suelos para evitar una infiltración excesiva por debajo de la presa. En caso contrario se deben prever las medidas necesarias para limitar las infiltraciones bajo la presa.
4. Deben evitarse las zonas que tengan alta densidad de habitantes, grandes bosques, terrenos pantanosos, ríos y quebradas que tengan alta turbiedad durante gran parte del año y aquellas que requieran nueva localización de obras de infraestructura, como carreteras, puentes, ferrocarriles, líneas de transmisión eléctrica, etc.
5. En lo posible, la zona del embalse debe estar muy próxima al municipio en el cual se está desarrollando el proyecto de abastecimiento de aguas.
6. Debe reducirse al mínimo las áreas inundadas de poca profundidad para evitar el crecimiento de vegetación.

B.4.4.15 Presas

Los tipos de presas más comunes son los siguientes:

B.4.4.15.1 Presas de tierra

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

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

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

B.4.4.15.2 Presas de roca

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

1. La presa debe tener una membrana impermeable para impedir la infiltración. La membrana impermeable debe ubicarse dentro de la presa o sobre el talud aguas arriba de ésta.
2. Para el diseño de la presa se tendrán en cuenta todos los requisitos generales estipulados en el literal B.4.4.15.1

B.4.4.15.3 Presas de gravedad en concreto o mampostería

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

1. Para el diseño de la presa se tendrán en cuenta los requisitos generales estipulados en el literal B.4.4.15.1
2. Los coeficientes de seguridad que deben ser adoptados para la construcción de las presas son los siguientes:

Con respecto al volcamiento : mayor de 2.0

Con respecto al deslizamiento : mayor de 1.5

B.4.4.16 Vertederos de excesos

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

1. La capacidad del vertedero debe justificarse en función de la máxima creciente registrada o estimada según las características hidrológicas de la zona.
2. La rápida, localizada aguas abajo de la cresta del vertedero, debe construirse revestida en concreto o en mampostería con el fin de proteger las estructuras contra la erosión producida por las altas velocidades del agua.

3. En caso de que se considere necesario la rápida debe ir acompañada de estructuras de aireación con el fin de prevenir posibles problemas causados por cavitación.
4. Al final de la rápida siempre debe existir una estructura disipadora de energía del agua del canal de excesos, para prevenir problemas de socavación en las estructuras ubicadas aguas abajo. En lo posible se tratará de entregar el flujo con la misma energía que lo caracterizaba antes de la construcción de la presa.

B.4.4.17 Acondicionamiento de la cuenca que aporta al embalse

Siempre que las obras de captación involucren la construcción de una presa y el embalsamiento de agua, deben observarse los siguientes requisitos para lograr un acondicionamiento de la cuenca localizada aguas arriba de las estructuras:

1. Deben eliminarse todos los posibles focos de contaminación, tanto química como bacteriológica. Por esta razón, es conveniente que el municipio adquiera las áreas perimetrales y las adecue convenientemente eliminando las viviendas y plantando árboles de hojas perennes en las mismas (la repoblación forestal en las zonas marginales reducirá además la cantidad de limos y arcillas arrastrada hacia el embalse).
2. En caso de que aguas arriba del embalse se localice otro municipio, las aguas residuales de éste deben ser tratadas antes de volverse a entregar al río que alimenta la presa.
3. Deben tomarse todas las medidas de protección posibles sobre la vertiente y los ríos afluentes, con el fin de evitar contaminaciones de origen animal o humano y la erosión.
4. Debe impedirse el acceso incontrolado de excursionistas, nadadores, navegantes y ganado a la zona de la vertiente y a las áreas tributarias.

B.4.4.18 Aspectos particulares de otras captaciones

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

B.4.4.18.1 Captación directa de aguas lluvias

Este tipo de captaciones únicamente debe usarse cuando no exista alrededor del municipio otra fuente. Sin embargo, para poderse utilizar la captación directa de aguas lluvias, estas deben asegurar una dotación mínima de acuerdo con el nivel de complejidad del sistema escogido. (Véase literal B.2.4.1)

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

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

B.4.4.18.2 Captación por evaporación de agua de mar

Este tipo de captación debe utilizarse únicamente en municipios sin otra fuente de abastecimiento. Sin embargo, la captación debe asegurar la dotación mínima exigida para el nivel de complejidad del sistema correspondiente. (Véase literal B.2.4.1)

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

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

B.4.4.18.3 Captación por desalinización de agua de mar

Este tipo de captación debe utilizarse en municipios sin fuentes de abastecimiento de agua convencionales. Sin embargo, la captación debe asegurar la dotación mínima exigida para el nivel de complejidad del sistema correspondiente. (Véase literal B.2.4.1)

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

B.4.5 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA

B.4.5.1 Canales

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

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

B.4.5.2 Rejillas

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

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

B.4.5.3 Desarenadores

Para **todos los niveles de complejidad del sistema**, una vez que los desarenadores entren en operación, debe probarse su capacidad durante por lo menos 24 horas con el caudal máximo horario, QMH, más el caudal correspondiente a las pérdidas que ocurran en el sistema de abastecimiento de agua.

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

B.4.6 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN

B.4.6.1 Caudal

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

1. Para los **niveles medio y medio alto de complejidad**, se recomienda medir el caudal a la entrada cada dos horas y guardar los registros con el fin de ser enviados, en caso de ser requeridos, a la SSPD.
2. Para el **nivel alto de complejidad**, debe medirse el caudal a la entrada de las estructuras de captación en forma continua y guardar los registros, con el fin de enviarlos, en caso de ser requeridos, a la SSPD. En este caso se recomienda que las mediciones se hagan a través de aparatos telemétricos, con el fin de que el operador conozca en tiempo real la cantidad de agua que se está captando de la fuente.
3. Para el **nivel bajo de complejidad**, no se requiere hacer mediciones de caudal en las estructuras de toma.

B.4.6.2 Calidad del agua

Con el fin de controlar la calidad del agua en la fuente durante todo el período de operación de las estructuras de la captación, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el **nivel medio de complejidad**, debe hacerse por lo menos un muestreo semanal en la bocatoma con el fin de hacer los análisis de laboratorio y establecer las condiciones de calidad del agua en la fuente, y detectar si están ocurriendo cambios en ésta. Se deben guardar estas informaciones en medio magnético, con el fin de ser enviadas, en caso de ser requeridas, a la SSPD.
2. Para el **nivel medio alto de complejidad**, debe hacerse un muestreo diario en la bocatoma con el fin de hacer los análisis de laboratorio correspondientes y establecer la calidad del agua en las estructuras de captación. Será obligatorio guardar estos registros en medio magnético, con el fin de enviarlos, en caso de ser requeridos, a la SSPD.
3. Para el **nivel alto de complejidad**, debe hacerse un muestreo horario de la calidad del agua en las estructuras de captación. En lo posible, la captación debe instrumentarse teleméricamente con el fin de conocer en tiempo real la calidad del agua que está captándose. Es obligatorio guardar los registros de calidad del agua que entra a la fuente en medio magnético, con el fin de enviarlos, en caso de ser requeridos, a la SSPD.
4. Para el **nivel bajo de complejidad**, no se requiere medir la calidad del agua en las estructuras de captación.

B.4.6.3 Canales

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

1. Para el **nivel bajo de complejidad**, deben medirse los niveles y los caudales en los canales, al menos una vez al año, con el fin de verificar la pendiente de la línea de gradiente hidráulico.

2. Para el **nivel medio de complejidad**, deben hacerse mediciones de caudales y niveles, al menos una vez al mes, con el fin de establecer la pendiente de la línea de gradiente hidráulico.
3. Para el **nivel medio alto de complejidad**, debe hacerse una medición semanal de caudales y niveles en los canales, con el fin de establecer la pendiente de la línea de gradiente hidráulico y verificar si están ocurriendo cambios en la rugosidad del canal o en el área mojada, debidos a problemas de sedimentación o erosión.
4. Para el **nivel alto de complejidad**, debe hacerse mediciones de caudales y niveles diariamente, con el fin de establecer la pendiente de la línea de gradiente hidráulico, lo cual permitirá conocer cambios en la rugosidad del canal o en el área mojada, causados por problemas de sedimentación o socavación. En este caso es recomendable la instrumentación de los canales con el fin de tener mediciones telemétricas en el centro de control de la empresa prestadora de servicio.

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

B.4.6.4 Rejillas

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

1. En caso de que las rejillas formen parte de una toma de rejilla, deben estar formadas por secciones removibles para garantizar su limpieza. En este caso no se aceptará la colocación de mallas debido a la dificultad de limpieza.
2. La limpieza de las rejillas retenedoras de basuras debe hacerse en periodos iguales o inferiores a los recomendados por el diseñador o cuando las pérdidas menores en éstas sean más altas que las establecidas en el diseño.
3. Para el **nivel alto de complejidad**, deben instrumentarse las rejillas con el fin de conocer en tiempo real las pérdidas menores que ocurran en éstas y programar las labores de limpieza. Para el **nivel medio alto de complejidad** es recomendable tener este tipo de instrumentación.

B.4.6.5 Desarenadores

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

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

B.4.7 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO

B.4.7.1 Mantenimiento y limpieza

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

B.4.7.2 Mantenimiento correctivo y preventivo

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

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

B.4.7.3 Control de sedimentos

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

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

B.4.7.4 Dragado de canales

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

1. Para el **nivel bajo de complejidad**, el canal situado aguas arriba debe dragarse cuando la capacidad hidráulica máxima de éste se reduzca en un 25%, o una vez al año.
2. Para el **nivel medio de complejidad**, el canal localizado aguas arriba debe dragarse cuando la capacidad hidráulica máxima se reduzca en un 20%, o una vez al año.
3. Para el **nivel medio alto de complejidad**, el canal ubicado aguas arriba debe dragarse cuando la capacidad hidráulica se reduzca en un 15%, o una vez cada 6 meses.
4. Para el **nivel alto de complejidad**, será responsabilidad del operador mantener la capacidad hidráulica del canal localizado aguas arriba de la estructura de toma. Sin embargo, se recomienda que se hagan dragados cuando la capacidad hidráulica máxima se reduzca en un 10%, o una vez cada 6 meses.

B.4.7.5 Lavado y limpieza de las estructuras de la obra de captación

B.4.7.5.1 Canales

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

1. Para el **nivel bajo de complejidad** se recomienda lavado y limpieza anual.
2. Para el **nivel medio de complejidad**, el lavado y la limpieza de los canales es obligatorio una vez al año.
3. Para el **nivel medio alto de complejidad**, el lavado y la limpieza de los canales debe hacerse semestralmente.

4. Para el **nivel alto de complejidad**, será responsabilidad del operador mantener lavados y limpios los canales. Será obligatorio realizar mediciones constantes para verificar la capacidad hidráulica de los canales.

B.4.7.5.2 Rejillas

El mantenimiento de las rejillas debe cumplir los siguientes requisitos:

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

B.4.7.5.3 Desarenadores

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

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

CAPÍTULO B.5

B.5. CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA

B.5.1 ALCANCE

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

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

B.5.2 ESTUDIOS PREVIOS

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

B.5.2.1 Concepción del proyecto

Durante la concepción del proyecto el diseñador debe establecer las condiciones generales de diseño y la localización del pozo. Además, debe seguir los lineamientos sobre planificación, determinación del objetivo y priorización de proyectos establecido en el Título A .

B.5.2.1.1 Justificación del uso de la fuente

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

B.5.2.1.2 Marco Institucional

Deben seguirse todos lineamientos de marco institucional establecidos en el literal B.1.3.3.

Además, deben considerarse todas las leyes, decretos, reglamentos y/o normas existentes en el Ministerio de Desarrollo, en el Ministerio de Salud Pública, el Ministerio del Medio Ambiente, los departamentos, los municipios, las corporaciones autónomas regionales y las empresas prestadoras de servicios públicos, relacionados con el consumo de agua potable.

B.5.2.2 Análisis de costo mínimo

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

B.5.2.3 Estudio de la demanda

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

B.5.2.4 Aspectos generales de la zona

Debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.3.3.1.3 de este título, sobre los estudios a realizar en la zona del acuífero y las características de las fuentes subterráneas, establecidas en el literal B.3.4.

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

B.5.2.5 Inventario de pozos

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

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

B.5.2.6 Estudios topográficos

Debe cumplirse lo establecido en el literal B.3.3.1.4 de este título.

B.5.2.7 Condiciones geológicas

Debe seguirse lo establecido en el literal B.3.4.1.4 de este título. Deben determinarse las principales formaciones y fallas geológicas así como el control que éstas puedan ejercer sobre el flujo y el almacenamiento del agua subterránea.

Durante el estudio geológico deben utilizarse las siguientes herramientas:

B.5.2.7.1 Reconocimiento fotogeológico

1. Para el **nivel alto de complejidad** debe realizarse un estudio fotogeológico, mediante la interpretación de fotografías aéreas a escalas adecuadas, pero nunca menos detalladas que una escala 1:60 000. El estudio debe determinar los tipos de drenajes, clasificación de las corrientes, formaciones aluviales, tapones arcillosos, zonas meandronales, zonas de pantano, alineamiento, fracturas, fallas, estructuras geológicas, plegamientos y zonas de recarga.
2. Para los **niveles bajo, medio y medio alto de complejidad** no se requiere de conocimiento fotogeológico.

B.5.2.7.2 Investigación geológica

Debe hacerse un levantamiento de columna estratigráfica representativo que determine formaciones geológicas, tamaño de las partículas, gradación, espesores de las formaciones, fallas, permeabilidad, porosidad y tiempo de perforación en cada estrato. Los procesos de investigación geológica deben abarcar en su objetivo lo establecido en la norma AWWA-A100, Sección 2. Para la investigación geológica pueden utilizarse métodos de investigación litológica tales como rotación directa con testigo, percusión con cable o rotación con circulación inversa.

La identificación de tramos permeable puede hacerse mediante ensayos a caudal constante o ensayos con caudal variable.

B.5.2.7.3 Sondeos geofísicos

En caso de que la perforación existente no sea suficiente para determinar la profundidad de las formaciones, debe adelantarse un sondeo geoelectrico por cada 2 Km², interpretándolo por el método de Schlumberger, calculando las resistividades eléctricas de cada estrato. El espaciamiento entre los electrodos debe permitir la ubicación de las diferentes formaciones. Cuando se requieran prospecciones a poca profundidad se recomiendan los métodos geoelectricos del potencial espontáneo o el método tripotencial.

En los niveles **medio alto y alto de complejidad**, el estudio puede complementarse con sondeos de refracción sísmica, ensayos de penetración de rayos gamma o ensayos de prospección eléctrica o electromagnética, bien sean de campo natural (magnetoteléutico, corrientes telúricas, gravimétrica y magnéticas) o de campo artificial (sondeos de frecuencia, métodos hertzianos, georadar, sondeos eléctricos verticales, calicatas eléctricas etc).

Sin embargo, no se recomiendan los métodos de refracción sísmica cuando se presenta interferencia por ruido por circulación masiva o de vehículos pesados, maquinaria etc.

B.5.2.8 Estudios hidrológicos

Debe seguirse lo establecido en el literal B.3.3.1.6 de este título, referente al contenido de los estudios hidrológicos de la zona. El diseñador debe llevar a cabo un balance hídrico de la zona y determinar la capacidad de infiltración, recarga y descarga en la zona de captación.

B.5.2.9 Estudios hidrogeológicos

Debe seguirse lo establecido en el literal B.3.4.1.6 de este título. Además, en la zona del acuífero y sus alrededores deben estimarse los niveles de infiltración y debe realizarse un balance hídrico de la cuenca que determine su capacidad de recarga y descarga. Los parámetros hidrogeológicos se determinarán con base en pruebas de bombeo.

B.5.2.9.1 Pruebas de bombeo

Deben realizarse las pruebas de bombeo necesarias en cada pozo con el fin de determinar las propiedades hidrogeológicas de las formaciones, las cuales incluyen la transmisibilidad, la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento.

El número de pruebas y la duración de cada una será establecido según la necesidad de cada acuífero para determinar completamente sus características

La prueba debe realizarse en el sitio del pozo con un pozo testigo como mínimo.

B.5.2.9.2 Análisis de interferencia

En el caso de que existan pozos antiguos, o de que el proyecto tenga previstos más de dos pozos, debe realizarse un análisis de interferencia entre los pozos y debe calcularse el radio de influencia y el abatimiento de cada uno para el caudal máximo que pueda presentarse.

B.5.2.9.3 Recarga

Debe estimarse la capacidad de recarga del acuífero, ya sea por infiltración natural, o en caso de que se crea necesario, por recarga artificial a través de embalses o pozos de infiltración, realizando un estudio de infiltración acompañado del balance hídrico de la zona, que debe considerar la extracción del caudal demandado.

B.5.3 CONDICIONES GENERALES

Las características mínimas de pozos o galerías filtrantes, así como su ubicación, deben seguir las condiciones básicas descritas a continuación:

B.5.3.1 Seguridad

La obra de explotación del agua subterránea debe garantizar la operación de la toma de agua. En particular, el pozo o los pozos deben garantizar dos veces el caudal medio diario esperado durante el período de diseño para los niveles **bajo y medio de complejidad** y tres veces el caudal medio diario para los niveles **medio alto y alto de complejidad**.

B.5.3.2 Lejanía de toda fuente de contaminación

En general, los pozos deben estar alejados de toda fuente de contaminación real o potencial, estableciendo una distancia suficiente para proteger los pozos del efecto de la fuente contaminante.

En particular, se establece una distancia mínima de 100 metros entre la captación de agua subterránea y elementos tales como pozos sépticos, letrinas y campos de infiltración.

En caso de que las condiciones geológicas lo permitan, esta distancia mínima puede variar, siempre que el diseñador presente un estudio que justifique que a una distancia menor no se presentarán problemas de contaminación en un pozo.

B.5.3.3 Accesos

Los pozos deben ubicarse en un lugar de fácil acceso y en una zona no inundable.

B.5.3.4 Cerramientos y protección sanitaria

La zona aledaña al pozo debe contar con los medios de protección y cercados necesarios para evitar la entrada de personas y animales extraños. Igualmente, sobre la cuenca deben tomarse todas las medidas legales necesarias para asegurar la calidad del agua y la protección de la cuenca, establecidas en el literal B.3.3.3.1

B.5.3.5 Facilidad de operación y mantenimiento

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

B.5.3.6 Sobre la vulnerabilidad y confiabilidad

En caso de existir un elevado nivel de vulnerabilidad de la captación a eventos como sismos, inundaciones, contaminación y otras amenazas posibles, según lo establecido en el capítulo G.7- VULNERABILIDAD Y REDUCCIÓN DE RIESGOS, la captación debe ser redundante en los niveles **medio alto y alto de complejidad**.

B.5.4 DISEÑO DE POZOS

B.5.4.1 Período de diseño

B.5.4.1.1 Pozos profundos

Para el caso de obras de captación de agua subterránea, el período de diseño se especifica en la tabla B.5.1

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

Nivel de Complejidad del Sistema	Período de Diseño
Bajo	15 años
Medio	15 años
Medio alto	20 años
Alto	25 años

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

B.5.4.1.2 Pozos excavados

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

B.5.4.2 Caudal de diseño

Las obras de captación de agua subterránea deben tener una capacidad igual al caudal máximo diario, QMD, si se cuenta con almacenamiento. En el caso de no tener almacenamiento, la capacidad de la obra debe ser igual al caudal máximo horario, QMH.

B.5.4.3 Número mínimo de pozos profundos

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

B.5.4.4 Parámetros hidráulicos

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

El cálculo de los parámetros hidráulicos debe basarse en pruebas de bombeo, relacionando el caudal extraído en términos de la conductividad hidráulica y el abatimiento. La relación entre éstas variables puede efectuarse aplicando la Ley de Darcy de la velocidad de flujo en medio porosos cuando se presentan condiciones de equilibrio, considerando a su vez la ecuación de continuidad, según la ecuación B.5.1:

$$Q = K \cdot i \cdot A \quad (\text{B.5.1})$$

Según el tipo de acuífero, puede tomarse alguna de las siguientes expresiones para el cálculo del caudal:

1. Acuíferos libres:

$$Q = K \cdot p \left[\frac{(H^2 - h^2)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \right] \quad (\text{B.5.2})$$

2. Acuíferos confinados:

$$Q = 2p \cdot K \cdot m \cdot \left[\frac{(H - h)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \right] \quad (\text{B.5.3})$$

B.5.4.5 Rejillas

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

B.5.4.5.1 Diámetro de rejillas

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

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

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

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

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

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

B.5.4.5.2 Longitud y ubicación de rejillas

La longitud de la rejilla debe ser suficiente para bombear el caudal de extracción esperado en el pozo, buscando siempre el menor abatimiento. Sin embargo, la longitud mínima de la rejilla está dada por la ecuación B.5.4

$$L_{\min} = \frac{0.0054 \cdot Q_d}{A_e \cdot V_e} \quad (\text{B.5.4})$$

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

1. En el caso de un acuífero libre homogéneo, la longitud de la rejilla debe estar entre 1/3 y 1/2 del espesor del acuífero, y ésta debe instalarse en la parte inferior del acuífero.
2. En el caso de un acuífero libre no homogéneo, la longitud de la rejilla debe ser igual a la longitud del estrato más permeable, estrato en el cual debe colocarse la rejilla. La ubicación de la rejilla debe ser simétrica en el estrato en el que se coloque.

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

B.5.4.5.3 Apertura de rejillas

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

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

B.5.4.5.4 Material de las rejillas

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

B.5.4.5.5 Velocidad en rejillas

La velocidad en las rejillas debe estar entre .03 m/s y 0.45 m/s. En caso de tener una velocidad inferior por debajo de la mínima establecida, es recomendable disminuir el diámetro de la rejilla.

B.5.4.6 Profundidad y distancia entre pozos

B.5.4.6.1 Profundidad del pozo

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

1. En acuíferos libres debe tenerse en cuenta el abatimiento del pozo durante el bombeo y la totalidad de la zona de captación debe estar por debajo del nivel dinámico calculado para la operación con el caudal máximo posible.
2. En acuíferos confinados la zona de captación debe cubrir un 80% del espesor del acuífero, sin embargo, en acuíferos costeros donde se puede presentar problemas de intrusión de la cuña marina, la profundidad del pozo puede ser inferior a 80%.

B.5.4.6.2 Distancia entre pozos

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

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

1. Debe calcularse el radio de influencia de un pozo y debe hacerse un análisis de interferencia entre todos los pozos del acuífero.
2. El abatimiento en un punto se tomará como la suma de las depresiones producidas en el mismo sitio por el bombeo individual de cada uno de los pozos.
3. En los **niveles bajo y medio de complejidad** la distancia mínima entre dos pozos será de 100 metros.
4. En los niveles **medio alto y alto de complejidad** la distancia entre pozos debe establecerse por medio de un análisis económico en la operación del sistema, teniendo en cuenta el efecto de los posibles abatimientos, en los costos de extracción del agua.

B.5.4.7 Pozos excavados

Solo se permitirá este tipo de pozos en los **niveles bajo y medio de complejidad**.

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

B.5.4.7.1 Métodos de Cálculo

Debe seguirse la metodología para el cálculo de caudales según la ley de Darcy expuesta en el literal B.5.4.4.

B.5.4.7.2 Diámetro

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

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

B.5.4.7.3 Número de pozos

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

En el **nivel medio de complejidad** deben tenerse un mínimo de tres pozos, dos de ellos con capacidad sumada igual al caudal máximo horario, QMH, cuando no exista almacenamiento e igual al caudal máximo diario, QMD, cuando exista almacenamiento.

B.5.4.7.4 Profundidad

Los pozos excavados deben tener una profundidad menor a 10 metros, atendiendo las siguientes disposiciones:

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

B.5.4.7.5 Cubierta

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

B.5.4.7.6 Revestimientos

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

B.5.4.7.7 Filtro

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

B.5.4.8 Captación de manantiales

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

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

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

B.5.4.9 Equipo de bombeo

El tipo de bomba a utilizar en la explotación de un pozo profundo debe ser producto de un análisis económico en los niveles **medio alto y alto de complejidad**;

En las especificaciones del equipo de bombeo debe tenerse en cuenta la norma técnica NTC 1595.

B.5.4.9.1 Capacidad

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

B.5.4.9.2 Localización

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

B.5.4.9.3 Tipo de motor

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

B.5.5 OBRAS ADICIONALES

B.5.5.1 Revestimientos

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

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

B.5.5.1.1 Material

El material de los revestimientos debe ser de tal calidad que resista los esfuerzos mecánicos en el pozo y la corrosión del agua. Además, dependiendo de su material, el revestimiento debe cumplir las normas técnicas establecidas en la tabla B.5.3

TABLA B.5.3

Normas técnicas que deben cumplir los revestimientos según el material

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

B.5.5.1.2 Espesor de revestimiento

El espesor del revestimientos debe seleccionarse según el diámetro, de acuerdo con la tabla B.5.4.

TABLA B.5.4

Espesores de revestimiento según el diámetro del pozo

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

B.5.5.2 Sello sanitario

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

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

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

1. En pozos excavados, el sello sanitario debe constar de un recubrimiento en concreto en la parte superior del pozo y una losa de protección sanitaria. El revestimiento del sello sanitario debe sobresalir por lo menos 0.3 m por encima de la losa sanitaria. Además, las paredes deben ser impermeables hasta una profundidad mínima de 3 metros.
2. En pozo profundos, el sello debe ser fabricado de mortero de cemento hasta una profundidad mínima de 5 metros por debajo de la superficie del terreno. Además, debe preverse una losa sanitaria sobre el nivel del terreno alrededor del pozo, con un área mínima de 1 m² con pendiente hacia la periferia.

B.5.5.3 Empaque de grava

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

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

B.5.5.3.1 Espesor y localización del empaque de grava

El espesor del empaque debe estar entre 75 mm y 300 mm (3 y 12 pulgadas). El empaque debe localizarse en el espacio anular adyacente a la rejilla y debe extenderse una longitud mínima de 6 metros por encima de ella, a excepción de acuíferos muy superficiales (someros).

B.5.5.3.2 Granulometría del empaque de grava

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

1. La rejilla debe retener el material del empaque y éste a su vez, debe retener el material de la formación.
2. Cuando el acuífero tenga una granulometría uniforme, el tamaño correspondiente al 50% de material que pasa en la curva granulométrica, D_{50} , del empaque debe ser cuatro veces el tamaño D_{50} del material de la formación acuífera.
3. Si la granulometría del acuífero es no uniforme, el tamaño D_{50} del empaque debe ser seis veces el tamaño D_{50} de la formación acuífera.
4. El coeficiente de uniformidad del empaque debe estar entre 1.7 y 2.5.

La granulometría debe establecerse según la norma NTC 1522. (ASTM C136)

B.5.5.3.3 Calidad del material

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

B.5.5.4 Cámara de bombeo

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

B.5.6 POZOS PIEZOMÉTRICOS

En todo acuífero libre que se explote con pozos profundos, debe colocarse una serie de pozos piezométricos o inspección con el fin de medir el nivel freático y los abatimientos del acuífero durante el bombeo.

La construcción de pozos piezométricos debe cumplir con la norma técnica NTC 3948.

B.5.6.1 Separación y número de pozos

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

En los niveles **medio alto y alto de complejidad**, el número de pozos piezométricos se establecerá de acuerdo a un análisis hidrogeológico que asegure total conocimiento de los niveles dinámico del acuífero en puntos preestablecidos durante su explotación.

B.5.6.2 Diámetro

El diámetro mínimo de los pozos piezométricos debe ser de 50 mm (2 pulgadas).

B.5.7 RECARGA DE ACUIFEROS

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

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

B.5.7.1 Recarga natural

En el caso de recarga natural, debe establecerse la cantidad de agua que entra al acuífero por infiltración, ya sea producto de precipitación o escorrentía. Debe asegurarse por medio de un balance hídrico, que la cantidad de agua de la recarga en época de estiaje sea por lo menos igual al caudal medio diario (Qmd).

B.5.7.2 Recarga artificial

En caso de que la recarga natural no exista, o sea insuficiente, debe considerarse la posibilidad de utilizar la recarga artificial, asegurando un caudal de recarga no inferior al caudal medio diario (Qmd).

B.5.8 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA

B.5.8.1 Verificación de rendimientos

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

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

B.5.8.1.1 Duración de la prueba

La duración debe ser suficiente para conocer el caudal de explotación que provoca un abatimiento estable.

Para los **niveles de complejidad bajo**, se recomienda hacer una prueba de bombeo por lo menos una vez cada año. Para los **niveles de complejidad medio, medio alto y alto**, debe hacerse una prueba de bombeo una vez cada año.

B.5.8.1.2 Parámetros a registrar

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

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

El diseñador debe presentar una gráfica que relacione el caudal con el abatimiento de cada pozo.

B.5.8.1.3 Prueba escalonada

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

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

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

B.5.8.1.4 Prueba a nivel constante

Debe hacerse una prueba con el caudal máximo previsto durante el período de diseño, con la duración establecida en el literal B.5.8.1.1. Al final de la prueba, el diseñador debe medir el abatimiento máximo en el pozo de explotación y en los pozos de inspección, verificando los resultados obtenidos con los adoptados en el diseño.

B.5.8.2 Desinfección

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

Los procesos de desinfección deben cumplir con la normas técnicas AWWA A-100, sección 11 y AWWA C654-87. Después de la desinfección, el agua debe estar libre de cloro residual.

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

B.5.8.3 Verificación de equipos de bombeo

Para la puesta en marcha de los equipos de bombeo deben seguirse los lineamientos establecidos en el literal B.8.12.2.

B.5.8.4 Desarrollo

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

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

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

B.5.9 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN

B.5.9.1 Calidad del agua cruda

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

1. Para el **nivel bajo de complejidad** debe hacerse un muestreo como mínimo cada mes, el cual debe incluir: Coliformes totales y fecales y Demanda Bioquímica de Oxígeno.
2. Para el **nivel medio de complejidad** debe hacerse un muestreo como mínimo cada semana, el cual debe incluir: Coliformes totales y fecales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, sólidos suspendidos totales, pH, alcalinidad y dureza.
3. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** debe hacerse un muestreo diario, el cual debe incluir, además de lo exigido en los otros niveles, fluoruros, cloruros, hierro, alcalinidad total y dureza.
4. Los muestreos para determinar la calidad del agua deben ajustarse a las normas técnicas NTC ISO 5667-3, NTC ISO 5667-11, GTC 30 y AWWA A-100, sección 12.

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

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

B.5.9.2 Rendimientos y niveles del acuífero

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

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

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

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

B.5.9.3 Tiempo de operación

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

B.5.9.4 Medición de caudales

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

1. Para los niveles **bajo y medio de complejidad**, debe medirse una vez al día.
2. Para el **nivel medio alto de complejidad**, debe medirse cada día, guardando los registros correspondientes.
3. Para el **nivel alto de complejidad**, debe medirse cada día, utilizando caudalímetros, guardando los registros correspondientes.

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

B.5.10 ASPECTOS DE MANTENIMIENTO

B.5.10.1 Equipos de bombeo

Para el mantenimiento de equipos de bombeo deben seguirse los lineamientos establecidos en el literal B.8.14.2

B.5.10.2 Prevención contra la incrustación

Debe efectuarse un mantenimiento preventivo contra el fenómeno de incrustación en las rejillas y en el revestimiento del pozo. Este mantenimiento debe hacerse entre un período de ocho meses y un año, bien sea por remoción mecánica a través de perforadora o por tratamiento químico con ácidos, polifosfatos o compuestos clorados, según el tipo de incrustación.

B.5.10.2.1 Remoción mecánica

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

B.5.10.2.2 Tratamiento químico

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

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

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

CAPÍTULO B.6

B.6. ADUCCIÓN Y CONDUCCIÓN

B.6.1 ALCANCE

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

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

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

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

B.6.2 ESTUDIOS PREVIOS

B.6.2.1 Concepción del proyecto

Durante la concepción del proyecto deben definirse criterios técnicos y económicos que permitan comparar todas las alternativas posibles para la aducción a partir de los datos de campo, de los datos geológicos y de los datos de consumo de la población que se abastecerá.

Dependiendo de la topografía, la distancia y la diferencia de nivel entre la captación y la planta de tratamiento, la aducción puede hacerse a través de una tubería a presión o un canal abierto. En caso de que se opte por la aducción a presión, y ésta opere por bombeo debe tener como mínimo dos equipos de bombeo en servicio continuo. Si existen pozos profundos, debe existir una unidad de bombeo adicional por cada 5 pozos.

En caso de que se opte por una aducción en canal, ésta debe localizarse, en lo posible siguiendo las curvas de nivel, de manera que se obtenga una pendiente apropiada que permita una velocidad del agua que no produzca transporte de sedimento, erosión ni depósito de sedimentos.

B.6.2.2 Análisis de costo mínimo

Para el diseño de la conducción debe considerarse en todos los casos un análisis de costo mínimo que siga los lineamientos establecidos en el Título A.

Para el **nivel bajo de complejidad** este análisis de costo mínimo no será obligatorio; sin embargo, en el caso de aducciones a presión, se recomienda hacer el análisis de costo mínimo, para dicho **nivel de complejidad**.

B.6.2.3 Estudio de la demanda

El diseñador debe conocer el estudio de la demanda de agua para el municipio que va a abastecerse, o en su defecto debe realizar este estudio siguiendo lo establecido en el capítulo B.2 - POBLACIÓN, DOTACIÓN Y DEMANDA de este título.

B.6.2.4 Aspectos generales de la zona de la aducción o conducción

Deben conocerse todos los aspectos generales de la zona por donde cruzará la aducción o conducción, como los regímenes de propiedad, los usos generales de la zona y, en lo posible, los desarrollos futuros proyectados.

En particular, tener conocimiento de las obras de infraestructura existentes en la zona de la aducción o conducción, como aeropuertos, embalses, carreteras, ferrocarriles, puentes, edificaciones, etc. También debe quedar plenamente establecido cuáles son los terrenos de propiedad del Estado, el departamento o el municipio y qué predios o servidumbres deben adquirirse.

B.6.2.5 Estudios topográficos

Los levantamientos topográficos deben hacerse lo más cerca posible de las zonas de trazado de la aducción o conducción; deben evitarse aquellos terrenos que sean difíciles o inaccesibles. Los levantamientos deben ser planialtimétricos, con detalles precisos que permitan mostrar los elementos de interés, los límites de propiedades, y los beneficiarios existentes, y los niveles de aguas máximos observados en cuerpos superficiales de agua. Igualmente, estos planos deben indicar en forma detallada las obras de infraestructuras existentes en la zona de trazado.

Además, debe recopilarse la siguiente información topográfica:

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

B.6.2.6 Condiciones geológicas

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

El diseñador debe conocer específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona por donde cruzará la aducción o conducción. En particular debe tenerse en cuenta lo establecido por la NSR - 98 con respecto a los niveles de amenaza sísmica de las diferentes zonas del territorio nacional.

B.6.2.7 Factibilidad de ampliación

Debe tenerse en cuenta un estudio sobre la factibilidad de la ampliación de la aducción o conducción considerando lo establecido en el análisis de costo mínimo. En general, el trazado de la aducción debe ser suficientemente amplio para permitir las posibles ampliaciones futuras.

B.6.2.8 Recomendaciones de trazado

Hasta donde sea posible, la aducción o conducción debe instalarse en terrenos de propiedad pública, evitando interferencias con instalaciones aeroportuarias, complejos industriales, vías de tráfico intenso, redes eléctricas, etc. En particular, deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. El trazado se hará en lo posible paralelo a vías públicas. Si esto no es posible, o se considera inconveniente desde el punto de vista económico y deben atravesarse predios privados, será necesario establecer las correspondientes servidumbres.

2. Deben estudiarse alternativas que no sigan las vías públicas cuando se considere que existen ventajas importantes por el hecho de que el trazado no cruce hondonadas o puntos altos muy pronunciados, o porque se puedan rodear quebradas y cauces profundos o para evitar cruces directos con obras de infraestructuras importantes.
3. Deben estudiarse alternativas al trazado con el fin de acortar su longitud o comparar con trazados en túnel, o bien para no cruzar terrenos que tengan niveles freáticos muy superficiales.
4. Cuando existan razones topográficas que impidan utilizar el recorrido estudiado para la línea de aducción o conducción, o no existan caminos desde la bocatoma hasta la planta de tratamiento, debe considerarse el trazado de una vía de acceso, teniendo en cuenta que éste debe encontrarse habilitada para el paso de vehículos durante todo el año.
5. Para la selección del trazado definitivo de la aducción deben considerarse, además del análisis económico y la vida útil del proyecto, los siguientes factores:
 - a) Que en lo posible la conducción sea cerrada y a presión.
 - b) Que el trazado de la línea sea lo más directo posible entre la fuente y la planta de tratamiento o entre la fuente y la red de distribución.
 - c) Que el trazado evite aquellos tramos que se consideren extremadamente difíciles o inaccesibles. El trazado definitivo debe garantizar que la línea piezométrica sea positiva y que en ninguna zona se cruce con la tubería con el fin de evitar presiones manométricas negativas que representen un peligro de colapso de la tubería por aplastamiento o zonas con posibilidades altas de cavitación.
 - d) Deben evitarse trazados que impliquen presiones excesivas que puedan llegar a afectar la seguridad de la conducción.
 - e) Deben evitarse tramos de pendiente y contrapendiente que puedan causar bloqueos por aire en la línea de conducción.
 - f) El trazado definitivo debe evitar zonas de deslizamiento o inundación.
6. Siempre que existan instalaciones enterradas o accesorios enterrados en la aducción o conducción, será necesario emplear señalizaciones y referenciarlos en planos, esquemas o tarjetas con coordenadas.

B.6.2.9 Servicios de agua cruda

En casos excepcionales, la línea de aducción puede prestar servicios de agua cruda. En estos casos será necesario considerar el aumento respectivo de caudal en las obras de captación y los desarenadores. En todos los casos, la empresa prestadora de servicio debe obtener la autorización de la SSPD para poder suministrar agua cruda desde la aducción.

En ningún caso el agua cruda tomada de la aducción puede ser utilizada para el consumo humano si no es tratada previamente en una planta de tratamiento localizada aguas abajo del servicio de agua cruda.

B.6.3 CONDICIONES GENERALES

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

B.6.3.1 Tipos de aducciones y conducciones

Pueden utilizarse los siguientes dos tipos de aducciones: aducción a superficie libre (canales) o aducción a presión (ya sea por bombeo o por gravedad).

Deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. En lo posible, no deben utilizarse canales abiertos en la aducción debido a las dificultades que presenta su mantenimiento y fundamentalmente por las condiciones de riesgo de contaminación a las que se hallaría sometida la aducción, con la consiguiente pérdida de calidad sanitaria.

2. Los canales que crucen zonas pobladas o zonas susceptibles de contaminación deben estar provistos de una cubierta de protección.
3. Se admitirá que en un sistema de aducción puedan existir tramos sucesivos a superficie libre, en conducto a presión por gravedad o por bombeo, en cualquier secuencia y dimensiones siempre que se cumplan las condiciones hidráulicas particulares para cada uno de esos tipos de regímenes.
4. En los puntos de transición de tramos definidos por distintos tipos de funcionamiento no deben presentarse pérdidas continuas de agua como resultado de la diferencia de capacidad de los diversos tramos. El tramo con menor capacidad debe tener la capacidad de diseño de la aducción.
5. No pueden presentarse deficiencias en el comportamiento hidráulico de la aducción como consecuencia de la subdivisión de la aducción en tramos de diferentes tipos de regímenes hidráulicos.
6. Las conducciones deben ser cerradas y a presión.

B.6.3.2 Análisis hidráulico

Para el análisis hidráulico de la aducción o conducción deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Debe desarrollarse un análisis hidráulico de la línea simulando todas las condiciones operacionales normales y de emergencia, definiendo el régimen de presiones y caudales a lo largo de la línea. En el caso de conductos a presión, debe hacerse un análisis de golpe de ariete.
2. En aquellos casos en que se considere necesario el uso de canales a cielo abierto, deben calcularse las pérdidas por evaporación; si el canal se construye sin revestimiento, la capacidad de conducción debe aumentarse teniendo en cuenta las pérdidas por infiltración.
3. El proyecto debe incluir el cálculo de todas las secciones del canal y de las obras de arte requeridas. La sección transversal del canal puede variar hacia aguas abajo, teniendo en cuenta las pérdidas por evaporación y las pérdidas por infiltración. En todo caso, dichas pérdidas deben estar sujetas a un análisis económico.
4. El conducto en planta puede estar constituido por tramos rectos, segmentos rectos acompañados por una curva o tramos curvos, pero en perfil estarán preferiblemente constituidos por tramos rectos.

B.6.3.3 Facilidad de acceso

En todos los casos, los conductos deben tener facilidad de acceso de equipos de mantenimiento a lo largo de su trazado. En los casos en que no existan caminos o carreteras paralelos a las zonas del trazado, deben construirse vías de acceso, tomando la precaución de que su trazado se encuentre habilitado para el paso de vehículos durante todo el período de operación de la aducción.

B.6.3.4 Protección contra la contaminación

Debe tenerse especial cuidado con la posible contaminación de las aguas en los conductos de aducción. En general, los conductos a presión son menos vulnerables a la contaminación entre las obras de captación y las plantas de tratamiento; por esta razón debe preferirse su uso. En el caso de que económicamente se demuestre que el uso de un canal abierto es óptimo, debe ponerse especial atención a las posibles fuentes de contaminación que existan a lo largo del canal. En particular, cuando el canal cruce zonas pobladas o zonas industriales, éste debe quedar cubierto.

B.6.3.5 Vulnerabilidad y confiabilidad

Debe establecerse el nivel de vulnerabilidad de la aducción o conducción. En caso de que por razones geológicas, topográficas u otro tipo de razones se considere que la aducción o conducción es altamente vulnerable, ésta debe ser redundante. En caso de que no sea posible contar con una redundancia en la aducción, aguas arriba y próximo a la planta de tratamiento debe existir un embalse de almacenamiento que permita tener un volumen de agua que garantice el consumo de la población en un tiempo igual al requerido para la reparación de la aducción.

B.6.3.6 Derivaciones de agua cruda

En aquellos casos en que la SSPD permita el uso de agua cruda desde una aducción, el cálculo hidráulico de ésta debe contemplar los caudales adicionales debidos a dicha derivación.

B.6.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

B.6.4.1 Período de diseño

El período de diseño de las aducciones o conducciones es función del **nivel de complejidad del sistema** y se encuentra establecido en la tabla B.6.1

TABLA B.6.1
Período de diseño según el nivel de Complejidad del Sistema

Nivel de Complejidad del Sistema	Período de diseño
Bajo	15 años
Medio	20 años
Medio alto	25 años
Alto	30 años

Para los niveles de complejidad medio, medio alto y alto, las aducciones o conducciones deberán ser analizadas y evaluadas teniendo en cuenta el período de diseño, para definir las etapas de construcción, según las necesidades del proyecto, basadas en la metodología de costo mínimo.

B.6.4.2 Caudal de diseño

Para calcular el caudal de diseño de las obras de aducción o conducción deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para los **niveles bajo y medio de complejidad**, la aducción o conducción debe diseñarse con el caudal máximo diario, (QMD) al final del periodo de diseño o año horizonte del proyecto, si se cuenta con almacenamiento; en caso contrario, debe diseñarse con el caudal máximo horario (QMH). En caso de sistemas con bombeo, debe diseñarse con el caudal medio diario y en los días de mayor consumo se aumentará el tiempo de bombeo.
2. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, la aducción o conducción debe diseñarse con el caudal máximo diario (QMD) más las pérdidas en la conducción o aducción y las necesidades en la planta de tratamiento. En estos casos se supone que existe almacenamiento.
3. En todos los casos debe adicionarse el caudal estimado para el consumo de agua de lavado, de filtros y sedimentadores y el consumo interno de la planta.
4. En el caso de aducciones en canales abiertos deben calcularse las pérdidas por evaporación y si el canal no está revestido también deben considerarse pérdidas por infiltración.

B.6.4.3 Canales a flujo libre

Siempre que la aducción sea totalmente en canal abierto, o parcialmente u opere como una tubería o túnel parcialmente lleno, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos de diseño:

B.6.4.3.1 Métodos de cálculo

Debe justificarse el método de cálculo para la sección transversal de los canales. Se recomienda el uso de las ecuaciones de Manning, de Bassin, de Manning-Strickler y de Chèzy. En el caso de secciones con 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 utilizado. Como ejemplo, en la siguiente tabla se establecen los coeficientes n de Manning para diferentes materiales.

TABLA B.6.2
Coefficientes de rugosidad de Manning

Material del canal	n de Manning
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 debe calcularse considerando flujo gradualmente variado. Se debe utilizar la ecuación general para curvas de remanso establecida mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - Fr^2} \quad \text{(B.6.1)}$$

Debe justificarse 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.

B.6.4.3.2 Análisis de costo mínimo

El dimensionamiento de los canales debe justificarse a través de un análisis de costo mínimo que siga los lineamientos establecidos en el Título A. El análisis de costo mínimo debe establecer, en los casos en que sea factible, las diferentes etapas en que se debe construir la aducción.

Para el **nivel bajo de complejidad** no se requiere un análisis de costo mínimo, aunque es recomendado.

B.6.4.3.3 Velocidad mínima

La velocidad mínima permisible estará determinada por el menor valor que evite la sedimentación.

El valor de la velocidad mínima debe estar determinado como una función del esfuerzo cortante mínimo necesario para producir el arrastre de las partículas sedimentables que no hayan sido retenidas por los desarenadores. El esfuerzo cortante crítico de arrastre debe calcularse según el literal B.6.4.3.8

B.6.4.3.4 Velocidad máxima

La velocidad máxima en el canal de aducción dependerá del caudal que ésta mueva, del radio hidráulico y del material de las paredes. Además, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. La velocidad máxima en los canales de la aducción dependerá del riesgo de erosión que ésta pueda sufrir.
2. En las siguientes tablas se dan algunos valores de referencia de velocidades máximas en canales revestidos y no revestidos. En caso de que el diseño involucre algún material no contenido en las tablas, debe justificarse la velocidad máxima adoptada.

TABLA B.6.3
Velocidades máximas en canales revestidos (m/s)

Tipo de revestimiento	Características del material	velocidad máxima
Revestimiento de hormigón (agua libre de arenas y piedras)		12.5
Mampostería convencional o en piedra.		3.7
Gaviones (0.5 m y mayor)		4.7
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

TABLA B.6.4
Velocidades máximas en canales no revestidos según el material en suspensión

Material excavado en la construcción del canal	Velocidades en m/s en los canales que transportan materias en suspensión		
	Agua limpia sin detritos	Agua con sedimentos coloidales	Agua que lleva sedimentos no coloidales, arenas, gravas o fragmentos de rocas
Arena fina (no coloidal)	0.4	0.8	0.4
Barro arenoso (no coloidal)	0.5	0.8	0.6
Barro de sedimentación (no coloidal)	0.6	0.9	0.6
Materias de aluvión no coloidales	0.6	1.1	0.6
Barro compacto ordinario	0.8	1.1	0.7
Cenizas volcánicas	0.8	1.1	0.6
Grava fina	0.8	1.5	1.1
Arcilla dura (muy coloidal)	1.1	1.5	0.9
Barro que forma gradualmente cantos terrosos, no coloidales	1.1	1.5	1.5
Materias de aluvión coloidales	1.1	1.5	0.9
Sedimentos que forman gradualmente cantos coloidales	1.2	1.7	1.5
Grava gruesa no coloidal	1.2	1.8	2.0
Guijarros y piedras	1.5	1.7	2.0
Pizarras y esquistos	1.8	1.8	1.5

Para cumplir los requerimientos de velocidad máxima en el canal de aducción y cuando las condiciones topográficas locales lo exijan, la aducción a superficie libre debe diseñarse en forma escalonada.

B.6.4.3.5 Pendiente mínima

La pendiente mínima que debe ser adoptada para los canales de aducción debe evitar la sedimentación de partículas más pequeñas.

B.6.4.3.6 Pendiente máxima

La pendiente máxima que será admitida en una aducción en canal será aquella para la cual la velocidad del agua no sea superior a los valores establecidos en las tablas B.6.3 o B.6.4 del literal B.6.4.3.4.

Además debe cumplirse los siguientes requisitos:

1. En el caso de que las condiciones topográficas impliquen pendientes superiores a la pendiente máxima que no produzca erosión, el canal debe estar diseñado en forma escalonada. El escalonamiento será obtenido por estructuras que proporcionen caídas verticales o caídas inclinadas.
2. En una caída vertical, el cambio de cota del agua se debe hacer en caída libre.
3. Al final de una caída libre debe haber una estructura de disipación de energía de forma que el flujo se entregue con una energía cinética igual a la que tenía antes de la caída.
4. En una rápida (caída inclinada con una pendiente alta), el agua pasará de un flujo subcrítico a un flujo supercrítico a lo largo de un canal inclinado construido en un material (concreto, mampostería, etc) capaz de resistir en forma adecuada las velocidades que se presentarán para permitir la concordancia entre los tramos superior e inferior.
5. Al final de la rápida debe existir una estructura de disipación de energía capaz de absorber la energía cinética extra del agua al llegar a la parte inferior de la rápida. El flujo se debe entregar con una energía cinética igual a la que tenía antes del inicio de la rápida.

B.6.4.3.7 Materiales

Para la selección del material o de los materiales que conformen la aducción, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La elección del material para la aducción debe efectuarse con base en las características topográficas, la agresividad del agua cruda, la agresividad del suelo con el material de la aducción -ya sea en canales o tuberías- las velocidades de flujo en el caso de canales, las presiones máximas y mínimas en el caso de ductos a presión, el análisis económico y los costos de mantenimiento.
2. Un sistema de aducción puede estar constituido por tramos de diferentes tipos de materiales, elegidos de conformidad con el tipo de funcionamiento, operación y mantenimiento, condiciones de implementación en el terreno y los esfuerzos actuantes.
3. En los puntos de transición entre tramos de diferentes materiales del sistema de aducción, deben disponerse elementos especiales destinados a la unión de los tramos, que impidan pérdidas de agua o generación de esfuerzos o cualquier otro fenómeno capaz de perjudicar la aducción.

B.6.4.3.8 Esfuerzo cortante crítico de arrastre

El esfuerzo cortante crítico de arrastre es el esfuerzo capaz de provocar el inicio del movimiento del material que conforma el lecho y las paredes del canal de aducción. Este esfuerzo crítico se calculará así:

1. En el caso de suelos de grava con diámetros superiores a 2.5 mm, el esfuerzo cortante en el fondo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau_0 = 0.8 \cdot D_{75} \quad (\text{B.6.2})$$

En la ecuación B.6.2, τ_0 se expresa en N/m^2 y D_{75} en mm.

Para las bancas del canal se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$\tau'_0 = k * \tau_0 \quad (\text{B.6.3})$$

$$k = \cos \theta * \left[\frac{1 - \tan^2 \psi}{\tan^2 \theta} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.6.4})$$

2. Para el caso de suelos de gravas finas, de diámetro menor de 5 mm, se utilizarán los esfuerzos cortantes críticos establecidos en la siguiente tabla.

TABLA B.6.5
Esfuerzos cortantes críticos dados en N/m^2

Condición	Diámetro medio D_{75} (mm)					
	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0
Agua clara	0.12	0.13	0.15	0.20	0.29	0.68
Agua con sedimentos finos en pequeña cantidad	0.24	0.25	0.27	0.29	0.31	0.81
Agua con sedimentos finos en gran cantidad	0.38	0.38	0.41	0.39	0.54	0.90

3. Suelos cohesivos: Los valores del esfuerzo cortante crítico para el caso de suelos cohesivos se encuentran en la siguiente tabla.

TABLA B.6.6
Esfuerzos cortantes críticos para suelos cohesivos en N/m^2

Material cohesivo del lecho	NATURALEZA DEL LECHO			
	Muy poco compactado en relación con vacíos de 2.0 a 1.2	Poco compactado en relación con vacíos de 1.2 a 1.6	Compactado, en relación con vacíos de 0.6 a 0.3	Muy compactado en relación con vacíos de 0.3 a 0.2
Arcillas arenosas (% de arena inferior a 50%)	0.20	0.77	1.60	3.08
Suelo con grandes cantidades de arcilla	0.15	0.69	1.49	2.75
Arcillas	1.20	0.61	1.37	2.59
Arcillas muy finas	0.10	0.47	1.04	1.73

4. En el caso de que existan curvas en los canales de aducción, deben hacerse las siguientes correcciones al valor del esfuerzo cortante crítico calculado: Si la aducción presenta pocas curvas (terreno ligeramente accidentado), los valores del esfuerzo cortante crítico deben ser multiplicados por 0.9; si la aducción presenta un reducido número de curvas (terreno medianamente accidentado), los valores del esfuerzo cortante deben multiplicarse por 0.75; si el canal de aducción presenta muchas curvas (terreno muy accidentado), el valor del esfuerzo cortante debe multiplicarse por 0.6.

B.6.4.3.9 Taludes laterales

La inclinación de los taludes de la sección transversal del canal de aducción sin revestimiento, abierta en terreno natural, no pueden ser superiores al ángulo del talud natural del terreno y debe ser más suave en terraplenes que en cortes. Se recomienda respetar los límites establecidos en la siguiente tabla.

TABLA B.6.7
Inclinación de taludes en canales de aducción

Naturaleza del terreno o material del canal	Inclinación Horizontal : Vertical	
	Corte	Terraplén
Roca compacta, mampostería ordinaria o concreto	1:4	
Roca fisurada o mampostería con junta seca	1:2	
Arcilla consistente	3:4	1:1
Grava gruesa	3:2	2:1
Tierra ordinaria o arena gruesa	2:1	3:1
Tierra media o arena normal	2.5:1 a 3:1	3:1 a 3.5:1

B.6.4.3.10 Pérdidas de cabeza

Durante el diseño de los canales de aducción deben tenerse en cuenta coeficientes de pérdidas menores en los siguientes casos:

1. Cuando el trazado en planta del canal de aducción esté constituido por tramos curvos con un radio de curvatura inferior a 20 veces el radio hidráulico, debe dimensionarse el canal considerando la pérdida de cabeza que la curva pueda ocasionar.
2. En los cambios de sección no se permitirán perfiles de agua irregulares con puntos angulares que produzcan perturbaciones. También deben evitarse los regímenes de flujo que se aproximen al estado crítico con el fin de evitar que se produzcan resaltos que perturben el flujo. En estos cambios de sección deben incluirse los coeficientes de pérdidas menores para calcular el perfil de flujo en el canal.

B.6.4.3.11 Transiciones

Cuando un canal de aducción presente tramos unidos por secciones presurizadas de sección circular, la concordancia entre los mismos se hará por medio de una transición.

B.6.4.3.12 Dispositivos de derivación

En el caso de que existan derivaciones desde el canal de aducción, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Cuando en un conducto abierto se prevea una derivación también en canal abierto, en el punto de derivación deben existir elementos capaces de controlar el caudal en cualquiera de los dos canales a partir de dicho punto, pero no necesariamente en ambos simultáneamente.
2. En puntos escogidos a lo largo de la aducción deben preverse dispositivos derivadores de agua o vertederos con las siguientes finalidades: Dar salida al exceso de agua en caso de maniobras inconvenientes del dispositivo regulador o controlador de caudales; dar salida a las aguas cuando no haya el consumo esperado; permitir el aislamiento y el vaciado de tramos de la aducción para fines de mantenimiento.
3. El agua de los dispositivos de derivación debe ser captada y conducida a lugares apropiados a través de canales de descarga proyectados de tal forma que quede asegurada la total estabilidad de la aducción con respecto al poder erosivo de las aguas derivadas.

B.6.4.3.13 Aislamiento por contaminación

En general, debe preservarse la calidad bacteriológica del agua diseñando la aducción, ya sea como un conducto cerrado, una canalización cubierta o una canalización aislada. Además, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Los canales abiertos, o con recubrimientos discontinuos, deben estar protegidos de la escorrentía superficial mediante jarillones situados por encima del nivel del terreno adyacente. En todos los casos, las aguas de escorrentía deben ser convenientemente canalizadas, sin que la aducción se convierta en un obstáculo para su paso.
2. Cuando un conducto libre esté constituido por un canal abierto en terreno natural, debe ser impermeable o debe ser impermeabilizado.
3. Los conductos libres que transporten aguas tratadas deben estar totalmente cerrados y tener paredes y fondo impermeables.

B.6.4.4 Conductos a presión para aducciones y conducciones

B.6.4.4.1 Generalidades

Cuando la aducción o la conducción esté compuesta por una tubería que funcione a presión deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. El tipo de tuberías, de juntas, de materiales y de apoyos debe ser adecuado a la forma de instalación, garantizando la completa estanqueidad del conducto. Así mismo, la tubería debe estar protegida contra impactos.

2. Las tuberías formadas por segmentos rectos pueden disponerse en forma curva, si es necesario mediante la deflexión de las tuberías en sus juntas, si éstas son flexibles.
3. Las tuberías formadas por segmentos rectos pueden colocarse en curva, si es necesario, mediante la deflexión de las tuberías en sus juntas, si estas son del tipo flexible. Sin embargo para municipios situados en zonas de amenaza sísmica alta no se recomienda deflectar las tuberías en las uniones mecánicas, con el fin de mantener su flexibilidad y dar seguridad a la conducción y/o aducción. En el caso de juntas flexibles, la deflexión máxima posible en cada junta, con excepción de los de juntas con características especiales, será la indicada por el fabricante de la tubería pero nunca podrán ser superiores a los valores de la tabla B.6.8

TABLA B.6.8
Deflexiones máximas en tuberías

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´
900	1° 10´
1 000 y menores	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.

B.6.4.4.2 Tuberías por bombeo

Cuando el flujo a través de una tubería de aducción o conducción que funciona a presión se obtiene por bombeo, deben tenerse en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Los conductos a presión por bombeo no pueden intersectar en ningún momento ni para ningún caudal la línea piezométrica, en sus condiciones normales de funcionamiento.
2. Cuando las condiciones topográficas del trazado para la tubería impliquen una inflexión en la línea piezométrica, el flujo debe hacerse por gravedad a partir de ese 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 preverse un tanque para el quiebre de la presión; Este tanque debe tener un vertedero y un conducto para el agua vertida, dimensionados para el caudal máximo de la aducción o conducción. Cuando las condiciones topográficas del trazado de la tubería presente aproximación entre la tubería y la línea piezométrica, el flujo debe hacerse por gravedad a partir de el punto de mínima presión.

B.6.4.4.3 Cálculo hidráulico

En todos los casos debe efectuarse el estudio hidráulico del flujo a través de la tubería de aducción o conducción con el fin de determinar si las tuberías trabajan a presión o como canales, es decir, a superficie libre, lo cual dependerá de las características topográficas de la zona y del diámetro del conducto. En ningún caso se permitirán presiones manométricas negativas. Además, deben tenerse en cuenta los siguiente aspectos:

1. Para el cálculo hidráulico y la determinación de las pérdidas por fricción en tuberías a presión debe utilizarse la ecuación de Darcy-Weisbach junto 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 de ella. Para el caso de flujo a superficie libre a través de tuberías debe utilizarse la ecuación de Chèzy; también pueden utilizarse las ecuaciones de Flamant y de Manning, siempre y cuando se garantice que el flujo a través de la tubería sea turbulento e hidráulicamente rugoso.
2. La ecuación de Darcy-Weisbach, junto con la ecuación de Colebrook & White, es adecuada para todos los tipos de flujo turbulento.
3. En el cálculo de flujo en tuberías debe considerarse el efecto producido por cada uno de los accesorios colocados en la línea y que produzcan pérdidas de cabezas adicionales, como válvulas, codos, reducciones, ampliaciones, etc.
4. Para el cálculo de las pérdidas menores debe utilizarse el coeficiente de pérdidas menores multiplicado por la cabeza de velocidad en el sitio donde se localice el accesorio. También puede utilizarse el método de las longitudes equivalentes de tubería, añadiendo dichas longitudes a la longitud real del tramo.

B.6.4.4.4 Ecuación universal para conductos a presión

El cálculo de la pérdida de cabezas debido a la fricción en una tubería o conducto cilíndrico largo, con un interior de diámetro continuo, debe hallarse mediante la ecuación de Darcy-Weisbach como se expresa en la ecuación B.6.5

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (\text{B.6.5})$$

Para la aplicación de la ecuación universal para conductos a presión 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 ($Re < 2000$)

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{B.6.6})$$

Flujo turbulento ($Re > 4000$)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (\text{B.6.7})$$

Como alternativa, puede utilizarse el diagrama de Moody para evaluar el factor f .

2. El número de Reynolds (Re) está definido por la ecuación

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (\text{B.6.8})$$

Deben evitarse diseños con flujos en la zona de transición ($2000 < Re < 4000$)

3. En la tabla B.6.9 se dan los valores de la densidad y la viscosidad absoluta del agua en función de la temperatura media de ésta.

TABLA B.6.9
Densidad y viscosidad del agua según la temperatura

Temperatura (° C)	Densidad, ρ (Kg/m ³)	Viscosidad, μ (x10 ⁻³ 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 de la tubería se evalúa de acuerdo con la tabla B.6.10, 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.

TABLA B.6.10
Valores de rugosidad absoluta

Material	Rugosidad absoluta k_s (mm)
Acero bridado	0.9-9
Acero comercial	0.45
Acero galvanizado	0.15
Concreto	0.3-3
Concreto bituminoso	0.25
CCP	0.12
Hierro forjado	0.06
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil (1)	0.25
Hierro galvanizado	0.15
Hierro dulce asfaltado	0.12
GRP	0.030
Polietileno	0.007
PVC	0.0015

(1) cuando la tubería de hierro dúctil esté revestida internamente, se debe tomar el valor de rugosidad absoluta del material de revestimiento.

5. La rugosidad absoluta indicada en la tabla anterior para tuberías nuevas no debe ser tomada menor que 1.4 veces el valor encontrado para tuberías de longitudes hasta 1,000 metros y menor que 2.0 veces para tuberías con longitudes mayores a 1 000 metros.
6. El envejecimiento de tuberías de concreto reforzado aislado interiormente y de tuberías de materiales plásticos extruidas puede ser considerado despreciable para el proyecto de aducciones o conducciones a presión.
7. Para tuberías metálicas, cuando no sea posible una limpieza periódica y si éstas no estuvieran pintadas internamente con materiales anticorrosivos, el caudal de diseño del proyecto debe ser multiplicado por un coeficiente de seguridad deducido de la gráfica mostrada a continuación.

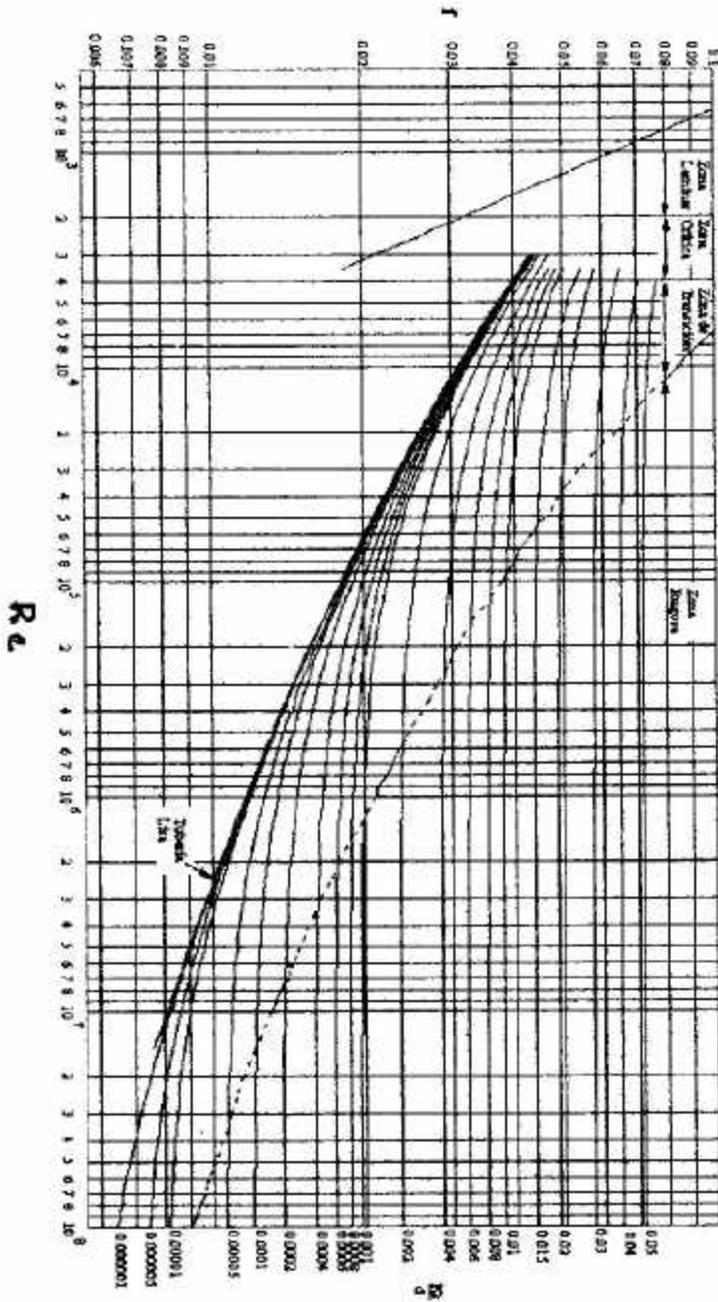
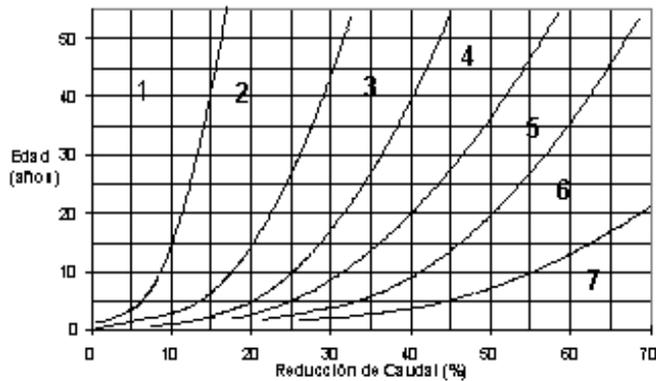


FIGURA B.6.1
Diagrama de Moody

GRÁFICA B.6.1
Reducción del caudal en función de la edad de la tubería



1. Casos extremos de aguas poco agresivas.
2. Agua filtrada no aireada y prácticamente no corrosiva.
3. Agua de pozos o agua dura con pequeña acción corrosiva.
4. Agua de regiones pantanosas con vestigios de hierro y materia orgánica levemente ácida.
5. Agua ácida de rocas graníticas.
6. Agua extremadamente corrosiva, pequeños conductos para agua dulce, levemente ácida.
7. Casos extremos de aguas muy agresivas.

B.6.4.5 Ecuación para el cálculo de las pérdidas menores

Para el cálculo de las pérdidas menores producidas en curvas, tees, válvulas y otros accesorios debe utilizarse la ecuación

$$H = K_m \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (\text{B.6.9})$$

Se debe justificar el valor de cada coeficiente de pérdidas menores para cada uno de los accesorios, con base en la bibliografía adoptada por el diseñador. A modo de ejemplo, se presenta la tabla B.6.11 con algunos coeficientes de pérdidas menores para accesorios típicos de aducciones a presión.

TABLA B.6.11
Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes

Accesorio	K_m
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula de mariposa, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Codo de radio corto	0.9
Codo de radio medio	0.8
Codo de gran radio	0.6
Codo de 45°	0.4
Te, en sentido recto	0.3
Te, a través de la salida lateral	1.8
Unión	0.3
Ye de 45°, en sentido recto	0.3
Ye de 45°, salida lateral	0.8
Entrada recta a tope	0.5
Entrada con boca acampanada	0.1
Entrada con tubo entrante	0.9
Salida	1.0

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

1. La pérdida de cabeza en tuberías a presión, que presenten salientes en las juntas de los tubos a lo largo del perímetro de la sección, es la suma de la pérdida de cabeza debida a la fricción, calculada como si no existieran las juntas indicadas, más las pérdidas menores debidas a la presencia de las juntas, las cuales se calculan por medio de la ecuación

$$h_s = n_j \cdot K_m \cdot \left[\frac{V^2}{2g} \right] \quad (\text{B.6.10})$$

Para $l_j / D < 30$:

$$K_m = K_0 \cdot K_1 \quad (\text{B.6.11})$$

Para $l_j / D > 30$:

$$K_m = K_1 \quad (\text{B.6.12})$$

K_0 y K_1 están tomados de las tablas B.6.12 y B.6.13

TABLA B.6.12
Valores de K_0

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 B.6.13
Valores de K_1

d / D	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	1.00
K_1	0.015	0.035	0.06	0.09	0.13	0.17	0.21	0.26	0.32	0.38

2. Las pérdidas de cabeza debidas a las uniones de tipo campana, espigo y uniones con anillo de caucho o similar pueden considerarse como despreciables, debido a que no presentan salientes hacia el interior de la tubería.

B.6.4.6 Análisis de costo mínimo

Ya sea que el sistema de aducción o conducción a presión opere a gravedad o por bombeo, debe hacerse un análisis de costo mínimo que incluya todo el conjunto de los componentes que integran el sistema de la aducción. Este análisis de costo mínimo es obligatorio para los niveles medio, medio alto y alto de complejidad. Para el nivel bajo de complejidad es recomendable el análisis de costo mínimo. Debe seguirse con lo establecido en el Título A sobre costo mínimo.

B.6.4.7 Materiales de las tuberías de aducción y conducción

En relación con las características de los diferentes materiales que conforman las tuberías de aducción y/o conducción y las ventajas y desventajas de los mismos, la tabla B.6.15 muestra un resumen de las características principales de los materiales más comunes.

Para la selección de los materiales de las tuberías deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

1. La resistencia contra la corrosión y la agresividad del suelo.
2. Tipo de uniones y necesidad de anclaje.
3. La resistencia a los esfuerzos mecánicos producidos por las cargas, tanto internas como externas.
4. Las características de comportamiento hidráulico del proyecto, incluyendo las presiones de trabajo máximas y mínimas, las sobrepresiones y subpresiones, causadas por golpe de ariete, etc.
5. Las condiciones económicas del proyecto.
6. Las condiciones de transporte e instalación adecuadas para el tipo de terreno que cruce la aducción.

7. La resistencia contra la tuberculización e incrustación en las tuberías.
8. La vida útil tenida en cuenta para el desarrollo del proyecto.
9. Debe elegirse el material de las tuberías teniendo en cuenta que las características de éste satisfagan las necesidades del proyecto, considerando no solamente uno o dos de los puntos anteriormente indicados, sino examinándolos en conjunto y con los costos de la inversión inicial y los costos de mantenimiento a largo plazo, así como la seguridad y la vulnerabilidad de la tubería.

El diseñador debe conocer las características que presentan los distintos materiales típicamente utilizados en tuberías para conductos a presión.

Podrán utilizarse tuberías de materiales comerciales siempre y cuando se conozcan las características técnicas de esos materiales, se cumplan con las normas técnicas nacionales o internacionales mencionadas en la tabla B.6.16 y éstos sean aprobados por la empresa que presta el servicio en el municipio.

La tabla B.6.15 puede utilizarse como guía en el estudio de los diferentes materiales posibles. Pueden utilizarse materiales no incluidos en esta tabla siempre que se cumpla 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.

En la tabla B.6.16 se muestran algunas normas técnicas sobre tuberías; éstas deben cumplirse dando prioridad a la Norma Técnica Colombiana correspondiente.

TABLA B.6.15
Características de las tuberías para conductos a presión

Material	Diámetros comerciales	Características
Acero	Desde 50 mm (2 pulgadas), a pedido	<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente liviana • Alta resistencia a la tracción • Adaptable a zonas donde puede haber asentamientos • Resiste presiones altas • Baja resistencia a la corrosión • Dúctil y maleable • Está sujeta a electrólisis • Baja resistencia a la corrosión externa en suelos ácidos o alcalinos • En diámetros grandes su resistencia a carga exterior es baja • Presenta tuberculización cuando no tiene revestimiento interno • Poca estabilidad estructural bajo presión negativa • Diseño estructural acorde con la presión requerida
Asbesto Cemento (AC)	50 a 700 mm (2 a 28 pulgadas)	<ul style="list-style-type: none"> • No sujeta a corrosión electrolítica • Se acartona, en suelos con alto contenido de CO₂ • Buena estabilidad estructural • Frágil • Relativamente liviana • En suelos ácidos (pH inferior a 4) necesita revestimiento epoxico externo.
Concreto reforzado con cilindro de acero (CCP) O sin cilindro.	250 a 1500 mm (10 a 60 pulgadas)	<ul style="list-style-type: none"> • En suelos ácidos (pH inferior a 4) necesita revest. epoxico externo. • Muy resistente a cargas externas, a presión interna y a golpe de ariete. • Pesada • Buena estabilidad estructural • Diseño estructural acorde con la presión requerida
Hierro dúctil HD	100 a 600 mm (4 a 24 pulgadas) o más a pedido	<ul style="list-style-type: none"> • Muy buena resistencia a la corrosión • Buena resistencia a carga exterior • Medianamente liviana • Medianamente dúctil • Facilidad de montaje • Poca elasticidad (pero mayor que el HF) • Sujeta a corrosión electrolítica cuando no está revestida externamente • Sujeta a tuberculización cuando no está revestida internamente

Hierro fundido HF	100 a 600 mm (4 a 24 pulgadas) o más a pedido	<ul style="list-style-type: none"> • Buena resistencia a carga exterior • Buena resistencia a la corrosión • Frágil • Pesada • Poca elasticidad • Sujeta a tuberculización cuando no está revestida internamente
Polivinilo de cloruro (PVC)	12.5 mm a 900 mm (0.5 a 36 pulgadas)	<ul style="list-style-type: none"> • Inerte a la corrosión • Liviana y de fácil manejo. • Buena resistencia a cargas externas • Temperatura máxima de trabajo 50°C • Baja resistencia a la flexión • Fácil de perforar para incorporar acometidas • Se degrada cuando esta expuesta a los rayos solares
Poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP)	300 a 2400 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Inerte a la corrosión • Liviana y de fácil manejo. • Buena resistencia a cargas externas
Polietileno de alta densidad (PE)	20 mm a 1200 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Inerte a la corrosión • Liviana y de fácil manejo. • Buena resistencia a cargas externas

TABLA B.6.16
Especificaciones y normas técnicas sobre tuberías

Material de la Tubería	Norma Técnica Colombiana	Otras Normas (Selección a criterio del fabricante)
ACERO	NTC 10 NTC 11	AWWA C 200 AWWA C 208 ASTM A 589
ASBESTO CEMENTO	NTC 44 NTC 487	AWWA C 400 AWWA C 401 AWWA C 402 AWWA C 403 ISO R 160
CONCRETO REFORZADO CON CILINDRO DE ACERO – CCP O SIN CILINDRO	NTC 747	AWWA C 300 AWWA C 301 AWWA C 302 AWWA C 303 AWWA C 304 ASTM C 822
FIBRA DE VIDRIO - GRP	NTC 3871 NTC 3919	ASTM D 2310 ASTM D 2992 ASTM D 2996 ASTM D 2997 ASTM D 3517 AWWA C 950
HIERRO DÚCTIL – HD	NTC 2587 NTC 2629	AWWA C 151 AWWA C 150 ISO 2531 ISO 4179 ISO 8179 ISO 8180
POLIETILENO – PE	NTC 1602= NTC 1747 NTC 2935 NTC 3664 NTC 3694	AWWA C 901-96 AWWA C 906-90 ASTM D 2239 ASTM D 2737 ASTM D 3035 ASTM D 3350
POLIVINILO DE CLORURO – PVC	NTC 382 NTC 369 NTC 539 NTC 1339 NTC 2295	ASTM D 1784 ASTM D 2241 AWWA C 900 AWWA C 905 AWWA C 907 DIN 16961

† Sólo para tuberías de polietileno clase 40

NOTA : Las normas técnicas colombianas NTC deben tener prioridad.

B.6.4.8 Especificaciones y control de calidad de las tuberías.

En relación con las especificaciones técnicas de las tuberías y de sus accesorios, debe cumplirse con los requerimientos de las normas técnicas colombianas correspondientes, y en caso de que éstas no existan, con las normas AWWA, ASTM, DIN u otras normas técnicas equivalentes, las cuales se encuentran en la tabla B.6.17.

TABLA B.6.17
Ensayos de control de calidad y normas técnicas sobre tuberías

Ensayos por material	Normas Técnicas NTC	Otras Normas
TUBERÍAS DE ACERO		
Prueba hidrostática de tubo recto		AWWA C200
Propiedades físicas		ASTM A370
Propiedades químicas		ASTM A751
TUBERÍAS DE CONCRETO REFORZADO CCP Y PCCP		
Propiedades		AWWA C 300, C 301, C 302, AWWA C 303, C 304
TUBERÍAS DE ASBESTO CEMENTO		
Estanqueidad	NTC 44	
Rotura a la presión interna	NTC 44	
Aplastamiento en sentido transversal	NTC 44	
Flexión longitudinal	NTC 44	
TUBERÍAS DE PVC		
Dimensiones	NTC 3358	ASTM D 2122
Aplastamiento	NTC 382	ASTM D 2241
Acondicionamiento de plásticos	NTC 718	ASTM D 618
Atoxicidad	NTC 539	NFS Standar 14
Olor y sabor		NFS Standar 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
TUBERÍAS DE POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO – GRP -		
Dimensionamiento	NTC 3871	ASTM D 3567
Resist. 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
TUBERÍAS DE POLIETILENO		
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†	
TUBERÍAS DE HIERRO DÚCTIL		

Acoples y accesorios	NTC 2587	
----------------------	----------	--

†Sólo para polietileno clase 40

Los proveedores 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 y de importancia realizados en el pasado, ya sea en Colombia o en el exterior.

Los productos importados deben acompañarse de certificación de calidad según la norma ISO 9000.

B.6.4.8.1 Diámetros mínimos para las tuberías de la aducción

Para la selección del diámetro de la tubería deben analizarse las presiones de trabajo, las velocidades del flujo y las longitudes de la línea de aducción. La elección del diámetro estará basada en un estudio comparativo técnico económico, mediante las técnicas de optimización que hagan que el costo anual sea mínimo.

Si la conducción se hace a superficie libre, el diámetro interior nominal mínimo que debe utilizarse es de 100 mm (4 pulgadas). Si la tubería trabaja a presión, el diámetro nominal mínimo que debe utilizarse es de 50 mm (2 pulgadas).

B.6.4.8.2 Presión interna de diseño de las tuberías

La presión interna de diseño de las tuberías debe calcularse como el mayor valor que resulte entre la presión estática y la máxima sobrepresión ocurrida en el fenómeno de golpe de ariete calculada según el literal B.6.4.11, multiplicada por un factor de seguridad de 1.3.

$$p_{\max} = \max(p_{\text{estática}}, p_{\text{transiente}}) \quad (\text{B.6.13})$$

$$p_{\text{diseño}} = 1.3 \cdot p_{\max} \quad (\text{B.6.14})$$

La presión nominal de trabajo de las tuberías y de todos sus accesorios debe ser mayor que la presión de diseño calculada en la ecuación B.6.14. El diseño estructural debe realizarse según el capítulo G.3 - ASPECTOS ESTRUCTURALES.

En todo caso, la presión nominal de trabajo de las tuberías, válvulas y accesorios debe ser indicada por el fabricante considerando los factores de seguridad que éste considere convenientes, cumpliendo siempre con las pruebas, ensayos y normas técnicas correspondientes al material, accesorio y/o válvula.

En el caso de que se tengan grandes presiones, siempre debe efectuarse un análisis técnico económico comparativo entre la posibilidad de adoptar tuberías de alta presión o la alternativa de disponer cámaras reductoras de presión y tuberías de menor presión. En todo caso debe verificarse que la presión resultante sea lo suficientemente amplia para alcanzar siempre las zonas más altas del trazado.

B.6.4.8.3 Velocidad mínima en las tuberías de aducción o conducción

Teniendo en cuenta que el agua que fluye a través de la tubería de aducción o conducción puede contener materiales sólidos en suspensión, debe adoptarse una velocidad mínima en las tuberías. Se recomienda una velocidad mínima de 0.60 m/s, aunque este valor dependerá de las características de autolimpieza, de la calidad del agua y de la magnitud de los fenómenos hidráulicos que ocurran en la tubería.

B.6.4.8.4 Velocidad máxima en las tuberías de aducción o conducción

En general no debe limitarse la velocidad máxima en las tuberías de aducción o conducción; el límite a la velocidad estará dado por la presión máxima producida por fenómenos del golpe de ariete (Véase literal B.6.4.11) y para las tuberías de aducción por la erosionabilidad de la tubería. Se recomienda una velocidad máxima de 6 m/s.

B.6.4.8.5 Pendientes de las tuberías

Con el objeto de permitir la acumulación de aire en los puntos altos de la tubería y su correspondiente eliminación a través de las válvulas de ventosa colocadas para este efecto y con el fin de facilitar el arrastre de los sedimentos hacia los puntos bajos y acelerar el desagüe de las tuberías, éstas no deben colocarse en forma horizontal.

Las pendientes mínimas recomendadas son las siguientes:

1. Cuando el aire circula en el sentido del flujo del agua, la pendiente mínima debe ser 0.04%.
2. Cuando el aire fluye en el sentido contrario al flujo del agua la pendiente mínima debe ser 0.1%.
3. En este último caso, la pendiente no debe ser menor que la pendiente de la línea piezométrica de ese tramo de la tubería de aducción o conducción.
4. Cuando sea necesario uniformizar las pendientes a costa de una mayor excavación, con el fin de evitar un gran número de válvulas ventosas y cámaras de limpieza, debe realizarse una comparación económica entre las dos opciones: Una mayor excavación o mayor número de accesorios.

B.6.4.8.6 Profundidad de instalación

Además de las recomendaciones establecidas en el literal B.6.2.8, recomendaciones de trazado de este título, debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. En todos los casos la profundidad mínima para el tendido de la línea de aducción debe ser por lo menos 0.6 metros, medidos desde la superficie del terreno hasta el lomo de la tubería.
2. El eje de la tubería debe mantenerse alejado de las edificaciones con cimentaciones superficiales
3. Debe mantenerse una profundidad mínima indispensable para la protección de la tubería y su aislamiento térmico.
4. En áreas de cultivo y cruces con carreteras, líneas de ferrocarril, avenidas, aeropuertos la profundidad mínima debe ser de 1.0 metro, con excepción de aquellos casos en que sean diseñados sistemas de protección debidamente justificados y aprobados por la empresa prestadora de servicio, con el fin de disminuir dicho valor.
5. En caso de que la tubería de aducción cruce suelos rocosos e inestables, deben tomarse las medidas de protección necesarias, tales como revestimientos de concreto simple, anclajes de concreto reforzado, etc.
6. En caso de que la tubería se tienda en zonas con pendientes altas, podrán adoptarse tendidos superficiales siempre y cuando se tengan en cuenta todos los apoyos y anclajes antideslizantes.
7. En caso de que se utilicen tuberías de PVC, necesariamente éstas deben estar enterradas, o en su defecto protegidas de los rayos ultravioleta con pintura color aluminio o blanco.
8. Cuando por la naturaleza del terreno o por otras razones sea necesario poner la tubería muy próxima a la superficie, deben preverse los elementos de protección que aseguren que la misma no estará sometida a esfuerzos o deformaciones que puedan causar roturas o afectar el funcionamiento hidráulico normal de la tubería.
9. En caso de que la línea de aducción o conducción esté sujeta a algún tipo de sumergencia temporal, debe tenerse en cuenta que podrán ocurrir levantamientos debidos a la subpresión cuando la tubería se encuentre vacía. En este caso debe preverse la colocación de las protecciones correspondientes si las características del agua freática presentan condiciones de agresividad.
10. En todos los casos debe verificarse que la línea piezométrica o línea de gradiente hidráulico quede ubicada, en las condiciones más desfavorables de los caudales previstos, por lo menos 2 m por encima de la clave de la tubería y por lo menos 1 m por encima de la superficie del terreno.
11. La condición anterior no debe exigirse en los tramos inicial y final del conducto ligado a un embalse o a una cámara en contacto con la atmósfera.

12. Siempre que sea posible deben hacerse coincidir las deflexiones verticales con las horizontales.
13. Todos los pasos sobre quebradas, ríos, canales, depresiones, otras estructuras, deben ser enterrados hasta donde sea posible, con el fin de minimizar los pasos aéreos a los estrictamente necesarios, teniendo en cuenta aspectos de seguridad, vulnerabilidad y menor costo de instalación.

B.6.4.9 Accesorios y estructuras complementarias para conductos a presión

B.6.4.9.1 Aspectos generales

En todos los casos en que se utilizan aducciones o conducciones a presión debe analizarse la necesidad de utilización de dispositivos de protección para la línea. Estos dispositivos tendrán el objeto de controlar la sobrepresión y subpresión en los diferentes puntos de la tubería.

Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de las tuberías deben instalarse diversos elementos, según las necesidades de cada caso. Las válvulas que serán utilizadas en la aducción o conducción, ya sea de control por gravedad o por bombeo, deben responder a las diferentes necesidades del proyecto específico.

En todos los casos debe verificarse que los accesorios y las estructuras complementarias colocadas a la línea de aducción a presión tengan un comportamiento adecuado con respecto a posibles problemas de cavitación; debe cumplirse con la norma técnica AWWA C550-90.

B.6.4.9.2 Válvulas de corte (o cierre)

Estas válvulas deben localizarse al comienzo y al final de la línea. En todos los casos debe hacerse un estudio de transientes hidráulicos para la operación de las válvulas en el sistema.

En caso de que la tubería, registre grandes desniveles, es necesario 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 literal B.6.4.8.2

Las válvulas deben cumplir con las correspondientes Normas Técnicas Colombianas, o en caso de su ausencia, con las normas técnicas AWWA, ASTM, DIN, ISO o cualquier otra norma internacional equivalente.

TABLA B.6.19
Normas Técnicas para las válvulas de corte

Tipo de válvula	Norma Técnica NTC	Otras normas
Válvulas de compuerta	NTC 1279, NTC 2097	AWWA C500, AWWA C501 AWWA C509, AWWA C540
Válvulas de mariposa	NTC 2193	AWWA C504
Válvulas de bola (en caso de tubería plástica)		

Además, dependiendo del **nivel de complejidad del sistema** debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Para los niveles **bajo y medio de complejidad** no deben localizarse válvulas de corte a lo largo de la línea, sino al inicio y al final de la conducción con diámetros nominales iguales al diámetro nominal de la tubería utilizada.
2. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** debe evaluarse la necesidad de instalar válvulas de corte 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 las exigencias de esta normatividad y de otras normas nacionales. El diámetro de la válvula será seleccionado de tal forma que la relación entre el diámetro de la tubería y el diámetro de la válvula sea aproximadamente 1.25, utilizando el diámetro comercial más cercano al valor obtenido. El diámetro de la válvula debe verificarse para evitar la creación de cavitación para flujos con altas velocidades. Debe

hacerse un estudio de transientes hidráulicos para la operación de las válvulas en el sistema y debe confeccionarse un manual de operación correspondiente a dicho sistema.

B.6.4.9.3 Válvulas de ventosa

En los puntos altos de la línea de aducción o conducción operando a presión 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 proceda a su llenado. Dichos dispositivos deben permitir igualmente 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 de flujo en la tubería.

Además debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Podrá adoptarse un dispositivo único para atender la entrada y la salida de aire, siempre y cuando dicho dispositivo sea capaz de atender ambas funciones.
2. La instalación de ventosas podrá evitarse siempre y cuando haya un tanque instalado en una cota de elevación más baja que las válvulas y que las probables bolsas de aire se encuentren por lo menos 10 metros por debajo del nivel estático. Este tipo de recomendación se utilizará en los niveles **bajo y medio de complejidad**.
3. Dependiendo del costo y en caso de que no se dispongan válvulas purgadoras de aire, para los niveles **bajo y medio de complejidad** puede considerarse la instalación de otras opciones técnicas. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** será obligatorio el uso de ventosas.
4. Las ventosas tendrán los siguientes diámetros mínimos:
 - Para tuberías con diámetro nominal menor o igual a 100 mm (4 pulgadas) el diámetro mínimo será de 50 mm (2 pulgadas)
 - Para tuberías con diámetro nominal mayor que 100 mm (4 pulgadas) el diámetro mínimo de las ventosas será de 75 mm (3 pulgadas).
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 con una cámara de inspección accesible, con su respectivo drenaje y completamente asegurada.
7. Los dispositivos de entrada de aire deben localizarse de tal modo que no se introduzca agua extraña al sistema; En caso de una aducción de agua cruda o conducción de agua potable, los dispositivos previstos deben instalarse de tal manera que sus aperturas se sitúen por lo menos 1 metro 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, o la línea de gradiente hidráulico correspondiente a la descarga de un tramo de conducto durante operaciones de mantenimiento y/o reparación, se sitúe por debajo de éste, de forma tal que cause problemas de discontinuidad en la columna líquida o problemas de posible colapso de la tubería por aplastamiento.
9. Como dispositivos automáticos para la entrada o salida de aire pueden utilizarse los siguientes
 - Ventosas simples para la descarga del aire acumulado durante el proceso normal de la aducción.
 - Ventosas de doble efecto para la descarga del aire acumulado durante el llenado y durante la operación normal de la aducción, y para la entrada de aire en las operaciones de descarga de agua.
 - Válvula de retención para la entrada de aire durante las operaciones de descarga de agua.
 - Tubos verticales o chimeneas cuando su extremidad superior pueda situarse por encima de la línea piezométrica o la línea de gradiente hidráulico o máxima, para la entrada de aire.
10. Debe adoptarse un paso lateral (by-pass) que una ambos lados de la ventosa intermedia. Este paso debe estar dotado de una válvula de corte propia cuando

- a) La válvula intermedia se localice en tramos descendentes de la tubería y su abertura no pueda realizarse sin causar perjuicios a su 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.

B.6.4.9.4 Válvulas de desagüe o purga

En los puntos bajos de la tubería de aducción deben colocarse válvulas de desagüe o de limpieza. En estos casos debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La descarga debe permitir la eliminación de toda el agua contenida en la tubería de aducción.
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 (3 pulgadas) para tuberías mayores a 100 mm (4 pulgadas). 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.
4. Si la velocidad de salida en la válvula de purga es muy alta, 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 en su interior, durante por lo menos el primer minuto de descarga.
 - b) Que el tiempo máximo para la descarga sea impuesto por las condiciones de operación.
 - c) El caudal máximo permitido por el sistema de recepción del agua descargada.
6. Las válvulas de purga serán de compuerta o mariposa y deben cumplir con la Norma Técnica Colombiana correspondiente, o su equivalente AWWA, ASTM, DIN, ISO o cualquier norma internacional equivalente.

B.6.4.9.5 Válvulas de cheque

En las tuberías de aducción por bombeo (líneas de impulsión) deben colocarse 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 sencillas o de doble acción deben cumplir con las Normas Técnicas Colombianas correspondientes o con alguna de las normas AWWA C 508-93 y AWWA C 510-92.

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

B.6.4.9.6 Válvulas de protección contra golpe de ariete

Este tipo de válvulas deben instalarse en tuberías de aducción por bombeo, sometidas a riesgos de sobrepresiones por golpe de ariete, sobre la línea de impulsión, con el fin de proteger las bombas y las tuberías correspondientes. Podrán utilizarse válvulas reductoras de presión, caso en el cual, éstas deben estar especificadas según la norma AWWA C 506, o la NTC correspondiente.

B.6.4.9.7 Cámaras de quiebre

Estas cámaras tienen por objeto reducir la presión aguas abajo de las mismas hasta el valor de la presión atmosférica, con el fin de limitar las presiones en las instalaciones localizadas aguas abajo. Deben instalarse este tipo de cámaras cuando se haya seleccionado como alternativa óptima una tubería de baja presión, acompañada por este tipo de elementos.

Como opción se permite la eliminación de las cámaras de quiebre, manteniendo siempre la tubería adecuada para soportar las presiones máximas más los factores de seguridad mencionados anteriormente a lo largo de toda la tubería.

B.6.4.9.8 Materiales para las válvulas.

Los materiales en que deben construirse las válvulas, tanto en su cuerpo como en sus mecanismos de cierre, deben cumplir con todas las especificaciones técnicas reconocidas, tanto nacional como internacionalmente, 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. Las especificaciones de los materiales se encuentran en las normas técnicas correspondientes para cada tipo de válvula.

Los revestimientos internos deben ajustarse a la Norma Técnica Colombiana correspondiente o a la norma AWWA C 550.

B.6.4.9.9 Bocas de acceso

En caso de que la aducción tenga un diámetro igual o superior a 900 mm (36 pulgadas) deben colocarse bocas de acceso con un diámetro mínimo de 0.6 m. Las bocas de acceso deben localizarse preferiblemente junto a válvulas de maniobra, a válvulas de purga o cruces bajo interferencias en las cuales no sea aconsejable instalar válvulas de purga.

El espaciamiento máximo de las bocas de acceso debe ser el siguiente:

1. 500 m para tuberías de concreto independientemente del diámetro de la línea.
2. 500 m para tuberías de acero con diámetro igual o mayor a 1.5 m (60 pulgadas) .
3. 1000 m para tuberías de acero con diámetro entre 900 mm (36 pulgadas) y 1.5 m (60 pulgadas). En las tuberías de acero deben instalarse bocas de acceso junto a todas las válvulas de maniobra, y de derivaciones de agua cruda .
4. Para otro tipo de materiales deben colocarse bocas de acceso cada 500 metros, independientemente del diámetro de la aducción a presión.
5. Las bocas de acceso deben tener las especificaciones contenidas en la NTC correspondiente.

B.6.4.9.10 Salidas para medición.

Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** deben colocarse salidas para pitometría y/o telemetría al comienzo y al final de la aducción a presión y en intervalos de 1 500 m cuando la longitud de la tubería sea mayor que 2 000 m. Así mismo deben colocarse estas salidas después de cada derivación. El diámetro interno de la salida debe ser de 2 pulgadas y debe colocarse con una válvula de compuerta y su correspondiente tapón roscado.

Para el **nivel medio de complejidad** se recomienda la instalación de salidas para pitometría siguiendo las recomendaciones del párrafo anterior.

Para el **nivel bajo de complejidad** no se requiere la instalación de salidas para pitometría.

B.6.4.9.11 Uniones de montaje.

Deben preverse juntas de montaje en todos los sitios donde haya necesidad de mantenimiento o reemplazo de algún equipo, como en el caso de las válvulas de corte.

Para tuberías de acero deben preverse uniones escualizables de tres cuerpos de acuerdo con la norma NTC 2587. (AWWA C 606)

Las tuberías con superficie externa irregular o porosa, tales como las tuberías de concreto con cilindro de acero, deben estar provistas de extremos lisos (o espigos en acero, que son la prolongación del mismo cilindro) para facilitar la instalación de las uniones de montaje que por lo general son de tres cuerpos.

B.6.4.9.12 Juntas de expansión

Deben preverse juntas de expansión en los pasos aéreos ejecutados con tuberías de acero con uniones soldadas en las cuales el dimensionamiento indique su necesidad, con el fin de absorber las dilataciones o contracciones debidas a las variaciones térmicas y de deflexión de las estructuras.

Estas juntas deben ser similares a las establecidas en la norma AWWA C220 y deben cumplir con los requerimientos allí establecidos. En todo caso, el diseño de juntas debe realizarse según lo establecido en el literal G.3.3 - Diseño de Tuberías a Presión.

B.6.4.9.13 Juntas sismorresistentes

En zonas de amenaza sísmica alta, las juntas que se utilicen en las tuberías deben absorber las deformaciones que puedan producirse en la ocurrencia del mayor sismo, el cual se obtiene según las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR-98, Ley 400/97 y Decreto 33/98.

B.6.4.9.14 Codos, tees, reducciones y otros accesorios

Para las tuberías con juntas elásticas, estos accesorios deben ser prefabricados por el productor de la tubería, o en su defecto, deben existir en el mercado en otros materiales que permitan su instalación con adaptadores, teniendo en cuenta todas las normas nacionales e internacionales vigentes, las cuales, a manera de referencia, se muestran en la tabla B.6.20

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.

TABLA B.6.20
Normas Técnicas de los accesorios según el material

Material	Normas Técnicas Colombiana	Otras normas
Acero <ul style="list-style-type: none"> • Bridas • Uniones • Acoplamientos con manguito • Uniones campana-espigo • Uniones soldadas en campo 		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"> • Revestimiento mortero centrifugado • Uniones • Uniones campana-espigo • Bridas 	NTC 2629 NTC 2587 NTC 2587 NTC 2587	AWWA C 104 AWWA C 110 - C153 AWWA C 111 AWWA C 115 ISO 2531 ISO 2230 ISO 4633
Hierro fundido	NTC 3359 NTC 2587 NTC 2629	AWWA C 151
Concreto	NTC 1328	AWWA C 300 - C 301 -C 302 -C 303 y C 304 ASTM C 822
Asbesto Cemento	NTC 44	AWWA C 400 - C 401 - C 402 AWWA C 403
PVC <ul style="list-style-type: none"> • Uniones mecánicas • Empaques de caucho • Accesorios soldados o roscados 	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
Fibra de vidrio	NTC 3877	ASTM D 3567 ASTM D 4161

Para las tuberías de acero soldado, las piezas especiales deben ser diseñadas y fabricadas de acuerdo con las normas y recomendaciones de la AWWA. En el caso particular de curvas de deflexión inferiores a 8 grados pueden ejecutarse en campo, a través del corte oblicuo de los tubos.

B.6.4.10 Estructuras complementarias para aducciones a presión

B.6.4.10.1 Estaciones disipadoras de presión

Con el fin de reducir la presión hasta un valor menor y establecer un nuevo nivel estático deben emplearse estaciones reductoras de presión. Se recomienda también su empleo cuando la calidad de las tuberías, de las válvulas y de los accesorios de la aducción o conducción no permitan soportar altas presiones, así como para mantener las presiones máximas de servicio en una red de distribución dentro de los límites admisibles.

La estaciones disipadoras de presión pueden estar basadas en el uso de válvulas reductoras de presión o en el uso de cámaras de quiebre de presión que alcancen igualar la presión de la aducción a la presión atmosférica correspondiente.

Estas válvulas permiten producir una pérdida de cabeza predeterminada, con el fin de controlar la presión manteniéndola constante independientemente del caudal que pasa a través de ellas.

Las válvulas reguladoras de presión deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. Se recomienda el uso de válvulas reductoras de presión instalándolas en grupos en una bifurcación de la línea, con el fin de permitir el funcionamiento de la instalación en caso de daño y/o mantenimiento de una de ellas, con las correspondientes válvulas de corte, filtros, manómetros, etc.
2. Las estaciones reductoras de presión deben localizarse en cámaras que brinden un acceso adecuado para labores de montaje, operación y mantenimiento.

B.6.4.10.2 Anclajes

En las líneas de aducción o conducción mediante tuberías a presión deben preverse y proyectarse los anclajes de seguridad necesarios, ya sea en concreto (ciclópeo, simple o reforzado) 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 soportes, o unidas a formaciones naturales de rocas (mediante anclajes metálicos) .
2. En los cambios de dirección tanto horizontales como verticales, de tramos enterrados o expuestos, siempre que el cálculo estructural lo justifique.
3. En puntos de disminución de diámetro o dispositivos para el cierre o reducción del flujo de conductos discontinuos.

B.6.4.10.3 Estructuras especiales

Cuando la línea de la aducción o conducción a presión cruce carreteras, vías férreas, ríos u otros obstáculos naturales deben proyectarse estructuras especiales que garanticen la seguridad de la misma, siendo concebidas para absorber las cargas y otros esfuerzos resultantes de la colocación de la tubería. Estas estructuras podrán ser metálicas, de madera, de concreto o de otros materiales y conformar puentes, pasos colgantes y túneles.

Las estructuras especiales deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. En el paso de la tubería de aducción por el fondo de un valle u otras zonas por las cuales pueda ocurrir el tránsito de una creciente, estando el conducto elevado, debe dejarse una sección libre suficiente para permitir el paso del caudal máximo correspondiente a una tormenta con un período de retorno de 20 años como mínimo, y deben preverse los apoyos protegidos contra posibles erosiones locales.
2. Las obras de arte, tales como sifones, cruces de carreteras, vías férreas o para salvar pasos de ríos, quebradas o depresiones del terreno deben proyectarse de tal forma que se garantice la durabilidad, permanencia y buen funcionamiento de las obras.

En algunos casos especiales, la tubería de aducción o conducción o tramos de ésta requerirán de protecciones especiales. Estas protecciones deben cumplir con los siguientes requisitos :

1. Cuando se requiera la instalación de la aducción o conducción al interior de un conducto mayor cuyo objetivo es proteger la tubería principal contra acciones exteriores o destinado a proteger la franja atravesada contra ruptura de la tubería, el conducto mayor debe tener una sección suficiente para permitir la realización de trabajos de mantenimiento de la tubería colocada en su interior. El conjunto debe permitir el retiro del ducto instalado al interior de la tubería de protección sin que sea necesario hacer cortes o demoliciones y sin perjudicar la estructura del revestimiento externo de la aducción.
2. La protección de conductos no enterrados debe ser obligatoria cuando éstos atraviesen zonas locales donde puedan estar sujetos a averías de cualquier naturaleza, provocada por agentes reales o potenciales.

B.6.4.11 Golpe de ariete

En el dimensionamiento de las aducciones o conducciones a presión debe hacerse un análisis del golpe de ariete, para el cual deben seguirse los criterios y aspectos que se señalan a continuación

B.6.4.11.1 Análisis del golpe de ariete

El análisis del golpe de ariete debe considerarse en los siguientes casos :

1. Proyectos de nuevas tuberías por bombeo.
2. Proyectos de nuevas tuberías por gravedad.
3. En las instalaciones existentes en las que se diseñen ampliaciones debido a un aumento en la demanda, en las que se coloquen bombas nuevas, en las que se hagan nuevos tanques o embalses o en las que existan variaciones de presión en cualquier sección de la línea de aducción o conducción.
4. En las instalaciones existentes cuando hay cambios en las condiciones normales de operación y en las condiciones excepcionales de operación.
5. En las instalaciones existentes que van a ser incorporadas a un nuevo sistema, aún cuando no sufran modificaciones de ninguna naturaleza.

Para el estudio del golpe de ariete deben probarse diversos dispositivos de control, con el fin de seleccionar aquel que ofrezca la mayor protección posible por el mismo costo.

Los dispositivos que pueden ser considerados para el control del golpe de ariete son : Válvulas de retención, válvulas con una o dos velocidades de cierre, válvulas de alivio, cámara de aire bajo presión, ventosas de doble efecto, tanques de compensación unidireccionales, almenaras, volantes, tanques hidroneumáticos y rotación en sentido inverso de las bombas centrífugas con cierre lento de válvulas.

B.6.4.11.2 Condiciones para el cálculo del golpe de ariete

El análisis del golpe de ariete en las tuberías de aducción o conducción debe hacerse para las condiciones normales de operación, deben tomarse medidas preventivas para las condiciones excepcionales de posibles emergencias o por la falta de dispositivos de protección.

Dichas condiciones para los diferentes tipos de aducción o conducción son las siguientes:

1. Condiciones normales de operación por bombeo

En las aducciones o conducciones por bombeo se consideran como condiciones normales de operación:

- El funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección y control de golpe de ariete previsto desde la etapa de diseño.
- La interrupción súbita del bombeo.
- El inicio del bombeo.
- Las maniobras de cierre o apertura de válvulas de control o de cierre existentes en la línea.
- La ocurrencia de las condiciones establecidas en el segundo ítem en todas las estaciones de bombeo de un sistema complejo.

2. Condiciones excepcionales en aducciones o conducciones por bombeo

- En los sistemas por bombeo se consideran como condiciones excepcionales las siguientes :
- La falla en cualquiera de los dispositivos de protección y control del golpe de ariete.
- Las maniobras inadecuadas en las válvulas, en desacuerdo con las reglas de operación especificadas para el proyecto.
- La ruptura de la tubería en la sección de máxima presión bajo régimen de flujo permanente.

- El cierre retardado de una de las válvulas de retención de la descarga de las bombas antes o simultáneamente con la máxima velocidad de reversa, ocurrida posteriormente a la interrupción del bombeo.

3. Condiciones normales de operación en aducciones o conducciones por gravedad

Se consideran como condiciones normales de operación en flujo a presión por gravedad:

- El funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección y control contra el golpe de ariete previstos desde la etapa de diseño.
- Las maniobras de cierre y apertura de las válvulas de control y de cierre existentes en las tuberías de aducción.

4. Condiciones excepcionales en aducciones o conducciones por gravedad.

Las condiciones excepcionales en flujo a presión por gravedad son:

- La falla en cualquiera de los dispositivos de protección y control contra el golpe de ariete.
- Las maniobras inadecuadas de las válvulas, en desacuerdo con las reglas de operación especificadas en el diseño del proyecto.
- La ruptura de la tubería de aducción o conducción en la sección de máxima presión bajo un flujo permanente.

B.6.4.11.3 Presiones máximas y esfuerzos a ser absorbidos.

En las tuberías a presión que incluyan los dispositivos de control enumerados en el literal B.6.4.9.6 las presiones internas máximas en la tubería no podrán exceder los siguientes valores:

1. Para las condiciones normales de operación, las presiones internas no podrán exceder el valor de la presión admisible para cada material y para cada clase de tuberías y de conexiones, juntas, bombas, válvulas y todos los demás accesorios presentes en la tubería.
2. En las condiciones 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 aducción.
3. En las condiciones normales y excepcionales, las presiones utilizadas para el cálculo de los empujes aplicados a las estructuras de anclaje de las tuberías, conexiones y equipos.

La presión admisible a que se refiere el presente literal es, para el caso de los materiales metálicos, la presión que produce la máxima tensión de tracción de 0.5 veces el esfuerzo de fluencia o el esfuerzo límite de resistencia de los materiales de los que están hechas las tuberías, las conexiones y los accesorios. En los demás casos, es la presión de 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 definidas por norma su presión y esfuerzo máximos admisibles, estos valores serán los utilizados en el presente literal.

En ningún caso la presión de ensayo hidráulico podrá superar la presión dada por la ecuación B.6.14.

En aquellas instalaciones que sean proyectadas sin dispositivos de control, los esfuerzos originados por el fenómeno del golpe de ariete no podrán ser absorbidos por el material del que están hechas las tuberías y las conexiones, ni por las juntas, los anclajes, los accesorios y los equipos de la instalación, a menos que se verifiquen las siguientes condiciones:

1. Las presiones internas máximas debidas al flujo no permanente sean inferiores a las presiones de servicios especificadas para cada tipo de material y clase de tubería, conexiones, accesorios, equipos y todo tipo de juntas.
2. No existen condiciones de operación excepcionales o de emergencia.
3. La presión interna máxima no excede 1.25 veces la presión de servicio en fenómenos transientes que ocurran máximo dos veces por año.

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

B.6.4.11.4 Presiones mínimas

Las presiones mínimas debidas al fenómeno del golpe de ariete, que ocurran en cualquier sección en la tubería de aducción, deben ser mayores que la presión subatmosférica admisible.

En las condiciones normales de operación para cualquier tipo de tubería y de material utilizado, la presión absoluta mínima admisible está dada por la presión absoluta de vapor del agua a temperatura ambiente restada de la presión atmosférica local. En la tabla B.6.21 se muestran los valores de la presión absoluta de vapor de agua para diferentes temperaturas.

TABLA B.6.21
Presión de vapor del agua

Temperatura (°C)	Presión de vapor (kPa)
0	0.61
5	0.87
10	1.23
15	1.70
20	2.34
25	3.17
30	4.24
40	7.38
50	12.33

Para tuberías de pared delgada compuestas de materiales flexibles, tales como metales o plásticos, la presión subatmosférica mínima admisible está definida por la presión de colapso estructural del tubo, siempre y cuando su valor sea superior a la presión mínima admisible establecida en el párrafo anterior para cualquier condición de operación.

B.6.4.11.5 Celeridad de la onda de presión

La celeridad de la onda de presión causada por el golpe de ariete es función entre otras, de el módulo de elasticidad del material en el que está elaborada la tubería.

$$a = \frac{\sqrt{E/\rho}}{\sqrt{1 + \frac{E \cdot D \cdot (1 - \mu_p^2)}{E_p \cdot e_p}}} \quad (\text{B.6.15})$$

Dada la complejidad del fenómeno del golpe de ariete, el cálculo de éste no puede quedar circunscrito a la aplicación de la fórmula anterior, sino que debe ser analizado con detenimiento en el proceso de diseño de la conducción, teniendo en cuenta los diferentes errores o fallas que se puedan presentar en su operación como: Cierre instantáneo de una válvula, falla eléctrica en una estación de bombeo afectando la tubería de impulsión, cierre o apertura rápida de una compuerta, cambio de dirección del flujo, etc.

Para calcular la celeridad de la onda de presión puede tomarse como referencia los valores indicados en tabla B.6.22

TABLA B.6.22
Módulo de elasticidad para materiales de tuberías

Material	Módulo de elasticidad E _p (GPa)
Acero	206.8
Hierro dúctil	165.5
Cobre	110.3
Bronce	103.4
Aluminio	72.4
PVC	2.75
Fibra de vidrio reforzada (radial)	10-33
Fibra de vidrio reforzada (axial)	8.96
Asbesto cemento	23.4
Concreto	3.9 (f'c) ^{1/2}
Polietileno corto plazo	0.9
Polietileno largo plazo	0.2

Los valores de otros materiales deben ser especificados por el fabricante.

B.6.4.11.6 Período del golpe de ariete

El período del golpe de ariete equivale al tiempo que una onda de presión necesita para recorrer toda la tubería desde el sitio del inicio de la perturbación hasta el final de la tubería y retornar al sitio inicial. El período del golpe de ariete se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación :

$$\tau = \frac{2 \cdot L}{a} \quad \text{(B.6.16)}$$

B.6.4.11.7 Métodos de cálculo del golpe de ariete en sistemas por bombeo

En sistemas que operen por bombeo, el estudio del golpe de ariete debe ser hecho utilizando el método de las características o algún método de elementos finitos, considerando la columna de agua como elástica, siempre que ocurran las siguientes condiciones, ya sea parcial o totalmente:

1. Separación de la columna en las secciones del perfil de la tubería de cotas más elevada.
2. Longitud de la tubería inferior a 20 veces la altura piezométrica total media en la sección de salida de las bombas.
3. Velocidad media máxima en las secciones de la aducción superior a 1.0 m/s.
4. Posible falla de cierre de las válvulas a la salida de las bombas.
5. Presiones actuantes que excedan los 2/3 de la presión admisible especificada para cada clase de tuberías, conexiones y accesorios.
6. Que el tiempo para alcanzarse el inicio de la reversión de la bomba sea menor que el tiempo del período de golpe de ariete.
7. Que el tiempo de cierre de la válvula de control sea menor que el período de golpe de ariete.
8. Que el tiempo de cierre de las válvulas automáticas sea menor que 20 segundos.

En las instalaciones por bombeo en las que la tubería de la succión es corta o la pérdida de cabeza a lo largo de la tubería de impulsión puede ser despreciada para efecto del golpe ariete, o las bombas son centrífugas y están equipadas con válvulas de retención en las secciones de salida y/o la paralización de las bombas ocurre por una interrupción en el suministro de energía eléctrica, el cálculo del golpe de ariete puede hacerse por el método de las características, el método de los elementos finitos, utilizando ambos la teoría de columna elástica, o mediante el análisis del golpe de ariete por columna rígida, exceptuando lo establecido en los dos siguientes casos:

1. El método de cálculo del golpe de ariete no es válido si las líneas piezométricas trazadas con las cargas piezométricas mínimas obtenidas antes y después de anularse el caudal de las bombas determina presiones inferiores a las presiones atmosféricas en las secciones de tubería de impulsión donde hubiera ventosas, o inferiores a la presión de vapor del líquido a temperatura ambiente en las secciones sin ventosas; en tal caso en el cual ocurriría la separación de la columna de agua.
2. El método de cálculo podrá ser utilizado para determinar si hay ocurrencia de separación de la columna de agua, lo mismo cuando en la salida de las bombas estén previstos accesorios antigolpe de ariete distintos de las válvulas de retención desde que sea trazada una línea piezométrica con una carga mínima obtenida antes de anular el caudal de las bombas.

B.6.4.11.8 Métodos de cálculos del golpe de ariete en aducciones por gravedad

En las tuberías de aducción o conducción que operen por gravedad, el cálculo del golpe de ariete debe ser hecho por el método de las características o por el método de los elementos finitos, utilizando la teoría de columna elástica, siempre que las siguientes condiciones fuesen susceptibles de ocurrir parcial o totalmente:

1. Separación de la columna en las secciones del perfil de la aducción de cotas más elevadas, en caso de posibles rupturas o durante maniobra de válvulas para operaciones de emergencia.
2. Necesidad de alivio del tiempo mínimo de cierre de válvula para interrupción del flujo para las condiciones normales y las operaciones de emergencia.
3. Maniobra de válvula de control de caudal con grandes variaciones de velocidad en el tiempo.
4. Encendido y apagado de las bombas conectadas a la aducción.
5. Las presiones internas actuantes exceden los 2/3 de la presión admisible especificada para cada clase de tubería, conexiones y accesorios.
6. Elevación de la presión en cualquier sección de la tubería, por medios mecánicos elevadores de presión.

B.6.4.11.9 Dispositivos de control para golpe de ariete

Dentro de los estudios que se realicen para analizar el transiente hidráulico, se deben incluir los correspondientes a los diferentes dispositivos utilizados para controlar el golpe de ariete de tal forma que se pueda seleccionar la mejor alternativa técnica y económica.

Los dispositivos más comunes que pueden ser considerados para el control del golpe de ariete son: válvulas de alivio, válvulas de aire de doble efecto, almenaras de equilibrio, volantes de inercia, válvulas de retención, tanques de amortiguación en una dirección, cámaras de aire sobre presión, tanques hidroneumáticos y rotación en sentido inverso de las bombas centrífugas con cierre lento de válvulas.

Se debe tener en cuenta que los análisis de transientes hidráulicos se hacen para condiciones normales de operación y posibles condiciones de emergencia.

B.6.5 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA

B.6.5.1 Canales a flujo libre

Una vez que entren en operación el canal o los canales que conformen la aducción a superficie libre, deben verificarse los caudales y los niveles de acuerdo con las siguientes especificaciones:

B.6.5.1.1 Caudales

Para verificar que los canales estén moviendo el caudal diseñado deben hacerse mediciones y aforos en el momento de entrar en operación dicho canal. En caso de que en el canal existan estructuras aforadoras, tales como canaletas Parshall, vertederos de cresta delgada, etc., podrán utilizarse dichas estructuras siempre y cuando se encuentren calibradas. En caso de que las estructuras aforadoras no se encuentren calibradas o

de que éstas no existan en el canal de la aducción, deben hacerse aforos utilizando correntómetros de hélice, magnéticos o de efecto Doppler acústico.

El aforo de los caudales debe hacerse al inicio y al final del canal si la longitud total de éste es inferior a los 1 500 metros. Si la longitud es mayor, deben hacerse otros aforos intermedio cada 1 000 metros. El objetivo de esto es verificar que la infiltración que ocurra a lo largo del canal no esté afectando el caudal movido por éste.

B.6.5.1.2 Niveles de la superficie libre

Una vez que entren en operación el canal o los canales que conforman la aducción deben verificarse los niveles de la superficie libre del agua para la condición de caudal máximo de operación. Para verificar dichos niveles es necesario tener puntos topográficos perfectamente nivelados y amarrados a una red que permita conocer la pendiente de la línea de gradiente hidráulico que está ocurriendo en el canal. Deben tenerse por lo menos cinco puntos de medida del nivel a lo largo del canal, siendo obligatorio verificar el nivel en aquellos puntos donde existan estructuras de control, tales como vertederos, canaletas Parshall, compuertas, etc.

B.6.5.2 Conductos a presión

En caso de que la aducción o conducción esté conformada total o parcialmente por conductos presurizados, en el momento de la puesta en marcha deben tenerse en cuenta las siguientes requisitos:

B.6.5.2.1 Prueba hidrostática

Una vez que finalice la instalación de la tubería, ésta debe presurizarse hasta el nivel máximo de la presión estática que va a soportar durante su vida útil, con el fin de verificar si existen o no fugas superiores a los límites permisibles y si existen problemas en las uniones, las juntas, los accesorios, etc. Igualmente debe verificarse el correcto estado de los anclajes. Estas pruebas pueden hacerse por tramos de la aducción o conducción.

B.6.5.2.2 Caudales

Una vez finalizadas las pruebas estáticas y después de llenar la zanja en los tramos enterrados de la aducción a presión deben verificarse los caudales de operación incluyendo el caudal máximo. Para verificar dichos caudales debe aforarse el caudal de entrada y el caudal de salida de la aducción.

B.6.5.2.3 Línea piezométrica

Con el fin de verificar lo establecido por el diseño, debe medirse la altura piezométrica en diferentes puntos de la tubería para diferentes condiciones de flujo, incluyendo el caudal máximo. Para verificar la altura piezométrica pueden utilizarse los puntos de pitometría existentes en la tubería. Debe ponerse especial cuidado a los sitios de la tubería en 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 o línea de gradiente hidráulico. Estos datos de línea piezométrica deben ser guardados, con el fin de ser enviados a la SSPD en caso de solicitud.

B.6.5.2.4 Desinfección de la conducción

En el caso de que el conducto a presión sea una conducción, ésta debe ser desinfectada. La desinfección debe ser hecha por el instalador de la tubería y debe realizarse con el procedimiento descrito en la norma técnica NTC 4246, desinfección de líneas principales para la conducción de agua.

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 descargándola por las válvulas de purga con el objeto de remover todas las materias extrañas.

El desinfectante debe aplicarse donde se inicia la tubería. Para secciones de la conducción localizada entre válvulas, el desinfectante debe aplicarse por medio de una llave de incorporación.

2. Debe utilizarse cloro o hipoclorito de sodio como desinfectante. La tasa de entrada a la tubería de la mezcla de agua con gas de cloro debe ser proporcional a la tasa de agua que entra al tubo. (Véase AWWA C651)
3. La cantidad de cloro debe ser tal que produzca una concentración mínima de 50 ppm.
4. El período de retención del agua desinfectada dentro de la red de distribución de agua potable no debe ser menor que 24 horas. Después de este período de retención, el contenido de cloro residual en los extremos del tubo y en los demás puntos representativos debe ser de por lo menos 5 ppm.
5. Una vez que se haya hecho la cloración y se haya dejado pasar el período mínimo, debe descargarse completamente la tubería.

Cuando se hagan cortes en alguna de las tuberías que conforman la red de distribución con el fin de hacer reparaciones, la tubería cortada debe someterse a cloración a lado y lado del punto de corte.

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 adecuada, debe repetirse el proceso de desinfección.

B.6.5.3 Accesorios

En el momento de entregar el proyecto de la línea a presión de aducción o de conducción, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos referentes a los accesorios de las tuberías.

B.6.5.3.1 Correcto funcionamiento del equipo electromecánico

En caso de que en la línea de tubería existan accesorios mecánicos o electromecánicos, debe verificarse su correcto funcionamiento antes de proceder a cerrar la zanja en la cual se encuentra la tubería enterrada.

B.6.5.3.2 Presiones en los accesorios

En aquellas aducciones o conducciones que incluyan tuberías con diámetros superiores o iguales a 600 mm (24 pulgadas), para diferentes condiciones de caudales en la tubería, deben verificarse la presión existente en el accesorio y la pérdida de cabeza ocurrida en éste. Debe ponerse especial cuidado a aquellos accesorios cuyo objetivo es el de producir una pérdida menor, tales como válvulas reguladoras de presión, válvulas reductoras de presión, etc.

B.6.5.3.3 Golpe de ariete

Teniendo en cuenta lo establecido por el diseño con respecto al golpe de ariete en la tubería de aducción o conducción, debe tomarse la condición normal de operación que produzca las mayores sobrepresiones y la condición normal de operación que produzca las menores supresiones, con el fin de realizar una prueba de golpe de ariete. Esta prueba debe simular dicha condición normal de operación, y debe medirse, la presión en aquellos puntos que, de acuerdo con el diseño, presentan las máximas sobreelevaciones de presión y las mínimas presiones. Estos datos deben ser registrados con el fin de ser enviados, en caso de ser solicitados, a la SSPD.

B.6.5.4 Derivaciones y válvulas de purga

En caso de que en la tubería de la aducción o conducción existan derivaciones de agua cruda, debe verificarse su correcto funcionamiento, midiendo el caudal derivado en función de la presión en el sitio de derivación.

En todas las válvulas de purga que existan a lo largo de la línea debe verificarse su correcto funcionamiento y debe medirse el caudal y la velocidad de salida del agua, bajo diferentes condiciones de operación.

Tanto para el caso de derivaciones como para el caso de válvulas de purga, debe verificarse el correcto funcionamiento de las estructuras y conductos de desagüe del agua que sale de la tubería.

B.6.5.5 Ventosas

En todas las ventosas que existan a lo largo de la línea de aducción deben hacerse las pruebas correspondientes que aseguren su correcto funcionamiento para las diferentes condiciones normales de operación establecidas por el diseño; debe cumplirse con la norma técnica AWWA C512-92.

B.6.6 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN

B.6.6.1 Control de caudal en las derivaciones de agua cruda

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

1. Para el **nivel bajo de complejidad** no se requiere hacer mediciones de caudal en las derivaciones de agua cruda
2. Para el **nivel medio de complejidad** se recomienda medir los caudales en las derivaciones de agua cruda.
3. Para el **nivel medio alto de complejidad** deben medirse los caudales en las derivaciones de agua cruda.
4. Para el **nivel alto de complejidad** debe medirse el caudal en las derivaciones de agua cruda. En estos casos se recomienda telemetría, con el fin de que el operador conozca en tiempo real la cantidad de agua que está siendo derivada de la aducción.

B.6.6.2 Mediciones de caudal a la salida de la aducción y conducción

Con el fin de verificar la cantidad de agua que llega al final de la aducción o conducción durante todo el período de diseño del proyecto, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos :

1. Para el **nivel bajo de complejidad** no se requiere medir el caudal de agua a la salida de la aducción o conducción.
2. Para el **nivel medio de complejidad** se recomienda hacer una medición del caudal a la salida de la estructura de aducción o conducción cada dos horas durante todo el período de operación del proyecto y guardar los registros. Estos registros deben guardarse con el fin de ser enviadas, en el momento que se soliciten a la SSPD.
3. Para el **nivel medio alto de complejidad** deben medirse los caudales a la salida de la estructura de aducción o conducción cada dos horas durante todo el período de operación del proyecto. Las informaciones sobre caudales de salida deben guardarse con el fin de ser enviadas, en caso de solicitarse, a la SSPD.
4. Para el **nivel alto de complejidad** debe medirse el caudal a la salida de la estructura de aducción o conducción en forma continua y guardar los registros con el fin de ser enviados, en caso de solicitud, a la SSPD. En este caso se recomienda tener medidas telemétricas.

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

B.6.6.3 Capacidad hidráulica de los canales

Una vez que entren en operación los canales que conforman la estructura de aducción, deben cumplirse los siguientes requisitos de operación:

1. Para el **nivel bajo de complejidad** debe verificarse la relación caudal vs. profundidad en el canal, por lo menos una vez al año y por lo menos en un punto del canal.
2. Para el **nivel medio de complejidad** debe verificarse la capacidad de conducción del canal, mediante la curva caudal vs. profundidad, por lo menos una vez al año y al menos en dos sitios del canal.
3. Para el **nivel medio alto de complejidad** debe verificarse la capacidad del canal, estableciendo la relación entre caudal y profundidad, por lo menos una vez al mes y en por lo menos dos puntos del canal.

4. Para el **nivel alto de complejidad** debe verificarse la capacidad hidráulica del canal, estableciendo la relación caudal vs. profundidad, por lo menos una vez al mes verificando el perfil de flujo a lo largo del canal. En este caso se recomiendan mediciones telemétricas.

B.6.6.4 Medición de sobrepresiones y subpresiones del golpe de ariete

En el caso de aducciones o conducciones con tuberías presurizadas, a lo largo de toda la vida útil del proyecto deben cumplirse los siguientes requisitos con respecto a las sobrepresiones y subpresiones generadas por fenómenos de golpe de ariete:

1. Para el **nivel medio de complejidad** se recomienda medir las sobrepresiones y las subpresiones, anotando la forma de operación de las válvulas para casos normales de operación de la aducción.
2. Para el **nivel medio alto de complejidad** deben medirse las presiones y subpresiones que ocurran bajo condiciones normales de operación. Deben guardarse estos registros, con el fin de ser enviados, en caso de solicitud, a la SSPD
3. Para el **nivel alto de complejidad** deben medirse las sobrepresiones y las subpresiones generadas bajo condiciones normales de operación, anotando en forma específica la forma de operación de las válvulas y bombas. En este caso es obligatorio el uso de telemetría. Estos registros deben guardarse con el fin de ser enviados, en caso de solicitud, a la SSPD.
4. Para el **nivel bajo de complejidad** no se requiere hacer mediciones de la sobrepresión o la subpresión ocasionadas por la operación normal de válvulas en la estructura de aducción.

B.6.6.5 Línea piezométrica

Para las aducciones o conducciones que estén compuestas por ductos presurizados, 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 toda la tubería, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

1. Para el **nivel bajo de complejidad del sistema** debe revisarse la línea piezométrica correspondiente al caudal máximo de operación, al menos una vez al mes.
2. Para el **nivel medio de complejidad del sistema** debe medirse la línea piezométrica, al menos una vez al mes con el caudal máximo de operación. Estos datos deben guardarse con el fin de ser enviados a la SSPD
3. Para el **nivel medio alto de complejidad del sistema** debe revisarse diariamente la línea piezométrica de la tubería. En este caso se recomienda el uso de instrumentos telemétricos. Deben guardarse los registros de la línea piezométrica, con el fin de ser enviados, en caso de solicitud, a la SSPD.
4. Para el **nivel alto de complejidad del sistema** debe hacerse una medición permanente de la línea piezométrica. Para este nivel de complejidad del sistema es obligatorio tener instrumentación telemétrica a lo largo de toda la línea de aducción o conducción, con el fin de que el operador conozca en tiempo real las presiones a lo largo de la tubería para diferentes condiciones de operación. Estos registros deben ser guardados, con el fin de ser enviados, en caso de que se requieran, a la SSPD.

B.6.6.6 Instrumentación telemétrica

En aquellos sistemas de aducción o conducción, ya sea mediante canales o mediante tuberías, en los cuales exista instrumentación telemétrica debe verificarse que la precisión de los instrumentos en el momento de entrar en operación esté dentro del rango de $\pm 1\%$. Debe verificarse su correcta colocación en los diferentes puntos de los canales y de las tuberías.

En el caso específico de los sensores de presión debe verificarse que la capacidad de éstos cubra todo el rango de presiones que pueda presentarse en la tubería, tanto bajo condiciones normales de operación como bajo condiciones de emergencia, incluyendo las subpresiones y las sobrepresiones causadas por el golpe de ariete producido bajo la condición de operación extrema.

B.6.6.7 Pitometría

En los casos de aducciones o conducción que incluyan tubería a presión, en los cuales existan puntos para mediciones pitométricas, deben hacerse medidas pitométricas a lo largo de la vida útil del proyecto cumpliendo los siguientes requisitos:

1. Para el **nivel medio de complejidad** deben hacerse medidas pitométricas, al menos una vez cada seis meses en todos los puntos de mediciones pitométricas. Estos registros deben guardarse con el fin de ser enviados, en caso de solicitud, a la SSPD.
2. Para el **nivel medio alto de complejidad** deben hacerse medidas pitométricas al menos una vez por mes en todos los puntos de pitometría. Estos registros deben ser guardados con el fin de enviarse, en caso de que se requiera, a la SSPD.
3. Para el **nivel alto de complejidad**, deben hacerse mediciones pitométricas en todos los puntos de pitometría al menos una vez al mes. Estos datos se utilizarán para verificar la precisión de los instrumentos telemétricos. Los registros deben guardarse con el fin de ser enviados, en caso de que se requieran, a la SSPD.
4. Para el **nivel bajo de complejidad** se recomienda hacer medidas pitométricas al menos una vez cada seis meses.

B.6.7 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO

B.6.7.1 Mantenimiento correctivo y preventivo

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

1. En el **nivel bajo de complejidad**, las labores de mantenimiento serán básicamente de tipo correctivo.
2. Para el **nivel medio de complejidad**, las labores de mantenimiento serán básicamente de tipo correctivo pero se recomiendan mantenimientos preventivos.
3. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, las labores de mantenimiento deben ser siempre de tipo preventivo.
4. Sin importar el **nivel de complejidad del sistema**, las labores de mantenimiento de todo equipo electromecánico debe ser de tipo preventivo.

En caso de que las labores de mantenimiento impliquen la suspensión en el servicio de abastecimiento de agua, la empresa prestadora del servicio debe informar a la comunidad sobre los horarios y cortes programados en el suministro de agua.

B.6.7.2 Suspensión del servicio por mantenimiento programado

En caso de que sea necesario suspender el servicio de la aducción por labores de mantenimiento programado, ésta debe limitarse a los siguientes períodos :

1. Para el **nivel bajo de complejidad**, la suspensión del servicio tendrá una duración máxima de 48 horas.
2. Para el **nivel medio de complejidad**, la suspensión del servicio tendrá una duración máxima de 36 horas.
3. Para el **nivel medio alto de complejidad**, la suspensión del servicio tendrá una duración máxima de 24 horas.
4. Para el **nivel alto de complejidad**, la suspensión del servicio tendrá una duración de máximo 24 horas en las zonas afectadas del municipio.

B.6.7.3 Registro de mantenimientos

Siempre que se hagan labores de mantenimiento en las aducciones o conducciones, deben seguirse los siguientes requisitos:

1. Para los niveles **bajo y medio de complejidad** se recomienda anotar la fecha, el daño ocurrido, la causa del daño, los repuestos utilizados y el procedimiento de reparación.
2. Para el **nivel medio alto de complejidad** es obligatorio anotar la fecha del daño, el tipo de daño ocurrido, la causa del daño, los repuestos utilizados y los procedimientos de reparación.
3. Para el **nivel alto de complejidad** es obligatorio anotar la fecha del daño, el tipo de daño ocurrido, la causa del daño, los repuestos utilizados y los procedimientos de reparación. Debe llevarse una base de datos con los registros históricos de los daños ocurridos en la aducción o conducción.

B.6.7.4 Disponibilidad de repuestos

En el caso de que se requieran repuestos para las labores de mantenimiento de las estructuras y/o accesorios que conforman las aducciones o conducciones, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el **nivel bajo de complejidad**, la consecución y localización in situ de los repuestos debe hacerse en una semana como máximo.
2. Para el **nivel medio de complejidad**, la consecución y localización in situ de los repuestos necesarios debe hacerse en tres días como máximo.
3. Para el **nivel medio alto de complejidad**, la consecución y localización in situ de los repuestos requeridos por el mantenimiento debe hacerse en un día como máximo.
4. Para el **nivel alto de complejidad**, la consecución y localización in situ de los repuestos debe ser inmediata para aquellos que impliquen la suspensión del servicio. Para los repuestos que no impliquen suspensión del servicio la consecución y localización in situ debe hacerse en un día como máximo.

B.6.7.5 Válvulas de purga

Con el fin de mantener un control efectivo sobre los sedimentos atrapados en las tuberías de aducción, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, la empresa prestadora de servicio encargada del abastecimiento del agua potable debe mantener un conocimiento pleno del tipo de sedimentos que están siendo retenidos en la aducción. La apertura de las válvulas de purga debe hacerse en el momento en que la capacidad de conducción de la tubería de aducción se reduzca en un 10% para una cabeza dada en la entrada de la aducción especificada.
2. Para los niveles **bajo y medio de complejidad**, la apertura de las válvulas de purga debe hacerse en forma periódica, de acuerdo con lo establecido en el diseño. En caso de que se tenga instrumentación que permita detectar reducciones en los caudales, las válvulas de purga deben abrirse en el momento en que se detecte una reducción del caudal del 20% para una cabeza dada en la entrada de la tubería de aducción.

B.6.7.6 Verificación de asentamientos en los anclajes

En caso de que el sistema de aducción o conducción incluya tuberías presurizadas o tuberías a superficie libre en las cuales existan tramos por encima del nivel del terreno, deben verificarse los asentamientos de los anclajes en uniones, codos y otros tipos de accesorios, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el **nivel medio alto de complejidad** deben verificarse los asentamientos en los anclajes, al menos una vez al año. Sin embargo, si la aducción cruza terrenos inestables con problemas neotectónicos o el municipio se encuentra localizado en una zona de amenaza sísmica alta, los asentamientos deben verificarse al menos una vez cada seis meses.

2. Para el **nivel alto de complejidad** deben verificarse los asentamientos de los anclajes una vez cada tres meses. Sin embargo, si la aducción cruza terrenos inestables, terrenos con una alta actividad neotectónica o el municipio se encuentra localizado en una zona de amenaza sísmica alta, durante los primeros tres años de operación de la aducción deben verificarse los asentamientos de los anclajes, al menos una vez al mes.

B.6.7.7 Limpieza de canales

En caso de que la captación incluya un canal, deben hacerse limpiezas de mantenimiento teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el **nivel bajo de complejidad**, el canal de aducción debe limpiarse cuando la capacidad hidráulica máxima de éste se reduzca 20% , o una vez al año.
2. Para el **nivel medio de complejidad**, el canal de aducción debe ser limpiado cuando la capacidad hidráulica máxima de éste se reduzca 15%, o una vez al año.
3. Para el **nivel medio alto de complejidad**, el canal de la aducción debe limpiarse cuando la capacidad hidráulica máxima de éste se reduzca 10%, o una vez cada seis meses.
4. Para el **nivel alto de complejidad**, será responsabilidad del prestador del servicio mantener la capacidad hidráulica del canal de aducción. Sin embargo, se recomienda que se hagan limpiezas cuando la capacidad hidráulica máxima se reduzca 10%, o una vez cada seis meses.

B.6.7.8 Mantenimiento de accesorios

Para el caso de los accesorios que formen parte de la estructura de aducción o conducción, tanto a superficie libre como flujo a presión, se requieren las siguientes labores de mantenimiento:

1. Para el **nivel bajo de complejidad** se recomienda verificar el estado, la apertura y el cierre de válvulas, purgas, ventosas, compuertas, etc., al menos una vez cada seis meses.
2. Para el **nivel medio de complejidad** debe verificarse el estado, la apertura, el cierre de válvulas, purgas, ventosas, compuertas, etc., al menos una vez cada tres meses.
3. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** debe verificarse el estado, la apertura, el cierre de válvulas, purgas, ventosas, compuertas, etc., al menos una vez cada mes.
4. En todo caso, deben seguirse las recomendaciones establecidas en las normas técnicas correspondientes para cada válvula y accesorio.

El mantenimiento de accesorios debe realizarse teniendo en cuenta las normas técnicas respectivas para cada uno.

B.6.7.9 Desinfección de las tuberías de conducción y tuberías matrices

Antes de poner en marcha las tuberías de conducción, o las tuberías matrices de distribución o después de un proceso de reparación, éstas se deben desinfectar siguiendo los procedimientos indicados en la Norma Técnica Colombiana NTC 4246.

CAPÍTULO B.7

B.7. REDES DE DISTRIBUCIÓN

B.7.1 ALCANCE

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

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

La red de distribución primaria o red matriz de acueducto, es el conjunto de tuberías mayores que son utilizadas para la distribución de agua potable, que conforman las mallas principales de servicio del municipio y que distribuyen el agua procedente de las líneas expresas o de la planta de tratamiento hacia las redes menores de acueducto. Las redes matrices son los elementos sobre los cuales se mantienen las presiones básicas de servicio para el funcionamiento correcto del sistema de distribución general.

Las redes de distribución secundarias y terciarias son el conjunto de tuberías destinadas al suministro en ruta del agua potable a las viviendas y demás establecimientos municipales públicos y privados.

En algunas ciudades de **nivel de complejidad alto**, se consideran como redes de distribución secundaria a las tuberías de diámetros comprendidos entre 75 mm (3 pulgadas) y 300 mm (12 pulgadas), y como redes de distribución terciarias las comprendidas entre 38 mm (1.5 pulgadas) y 50 mm (2.5 pulgadas), las cuales se alimentan desde las redes matrices y reparten agua en ruta.

En los municipios de los **niveles de complejidad bajo, medio, medio alto**, se considera que las redes de distribución secundaria comprenden los diámetros entre 38 mm (1,5 pulgadas) a 100 mm (4 pulgadas); y las tuberías matrices, los diámetros de 150 mm (6 pulgadas) en adelante y sobre éstas deben garantizarse las presiones mínimas para que el sistema opere adecuadamente.

En este literal del Título B se incluyen los estudios previos, las condiciones generales, los parámetros de diseño, los aspectos de la puesta en marcha, los aspectos de la operación y los aspectos del mantenimiento de todas las estructuras y accesorios que conforman la red de distribución. La normatividad discriminada a continuación tiene como objetivo conseguir la durabilidad, la seguridad, la economía y la correcta prestación del servicio con respecto a las condiciones de uso requeridas para cada caso, teniendo en cuenta los objetivos de saneamiento e higiene perseguidos para la población. Las diferentes normas se discriminan para los cuatro **niveles de complejidad del sistema**, de tal manera que el diseñador o el constructor de una red de distribución de agua potable o de su ampliación debe conocer de antemano en que **nivel de complejidad del sistema** se clasifica su trabajo, con el fin de conocer cuales son los aspectos que debe tener en cuenta.

B.7.2 ESTUDIOS PREVIOS

B.7.2.1 Concepción del proyecto

Durante la concepción del proyecto deben definirse criterios técnicos y económicos que permitan comparar todas las alternativas posibles para la red de distribución del municipio, a partir de los datos de campo, geológicos, urbanísticos, demográficos (poniendo énfasis especial en los casos de etnias minoritarias) y de consumo de la población que se va a abastecer. Los sistemas de distribución de agua potable deben cumplir con los siguiente requisitos principales:

1. Suministrar agua potable a todos los usuarios en la cantidad y calidad necesarias y exigidas por este código.
2. Proveer suficiente agua para combatir incendios en cualquier punto del sistema.
3. Proveer agua para otros tipos de uso, tales como fuentes, servicios públicos etc.

La concepción del proyecto de la red de distribución debe incluir, entre otras, las siguientes actividades

- a) Definición de los caudales para el dimensionamiento de la red de distribución.
- b) Delimitación del perímetro sanitario, perímetro de servicio o del área total.
- c) Delimitación clara de las zonas de presión.
- d) Fijación de las capacidades de los tanques de distribución y compensación localizados dentro de la red de distribución.
- e) Análisis del sistema de distribución existente, con el objetivo de aprovechar eficientemente las tuberías existentes.
- f) Trazado de los conductos principales y secundarios de la red.
- g) Dimensionamiento de cada uno de las tuberías de la red. En caso de que se trate de una ampliación debe establecerse claramente cuales de los tubos existentes deben ser redimensionados y cambiados.
- h) Localización y dimensionamiento de los equipos y accesorios destinados al funcionamiento y la operación del sistemas de distribución de agua potable.
- i) Definición de las etapas de ejecución del sistema de distribución de agua potable.
- j) Especificación de las obras, los materiales y los equipos que conforman la red de distribución.
- k) Estimación de los costos de diseño de construcción del sistema de distribución.

B.7.2.2 Rango de población

Para estimar el rango de la población por abastecer mediante la red de distribución de agua potable, debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el capítulo B.2 - POBLACIÓN, DOTACIÓN Y DEMANDA, de este título. En especial debe tenerse en cuenta lo establecido en los literales B.2.2 y B.2.7.

B.7.2.3 Análisis de costo mínimo

Para el diseño de la red de distribución en los niveles **medio, medio alto y alto de complejidad** debe considerarse en todos los casos un análisis de costo mínimo, siguiendo los lineamientos establecidos en el Título A. Para el **nivel bajo de complejidad**, este análisis de costo mínimo no será obligatorio. Sin embargo, para ese **nivel de complejidad del sistema** se recomienda que la red de distribución se encuentre optimizada con respecto al costo de los diámetros de las tuberías que la conforman.

B.7.2.4 Optimización de la red de distribución

El dimensionamiento de la red de distribución debe justificarse con estudios económicos comparativos que permitan determinar los diámetros óptimos de cada una de las tuberías de la red, compatibles con los requisitos técnicos, las etapas de construcción y la viabilidad económico financiera del proyecto. Para todos los **niveles de complejidad del sistema** debe hacerse un diseño optimizado de la red de distribución.

Los estudios económicos comparativos deben hacerse no sólo con el objeto de lograr la optimización de la red de distribución tomada aisladamente, sino con miras a encontrar una solución global de costo mínimo del conjunto de los componentes que integran el sistema. En particular, debe ponerse especial atención a aquellos sistemas que operen por bombeo. Debe escogerse el sistema de distribución cuyos costos de tuberías y costos de bombeo, incluida su operación en el largo plazo, sean los mínimos.

B.7.2.5 Estudios de demanda

El diseñador debe conocer el estudio de la demanda de agua para el municipio por abastecer, o en su defecto debe realizar este estudio, siguiendo lo establecido en el literal B.2, POBLACIÓN, DOTACIÓN y DEMANDA, de este título.

B.7.2.6 Distribución espacial de demanda

El diseñador debe conocer la variación de la demanda en la localidad, atendiendo los diferentes usos del agua, las densidades de población, la estratificación de los servicios públicos, los usos de la tierra y establecer para cada zona la demanda teniendo en cuenta el análisis de las variables antes mencionadas.

B.7.2.7 Aspectos generales de la zona por abastecer

Deben conocerse todos los aspectos generales de la zona que va a ser abastecida por la red de distribución. En general, deben conocerse los regímenes de propiedad y los usos generales de la zona, así como los requerimientos básicos y usos del agua que va a ser suministrada. En particular, debe quedar plenamente establecido cuales son los terrenos de propiedad del estado, del departamento o del municipio.

Con el fin de establecer concretamente los aspectos generales de la zona donde va a localizarse la red de distribución objeto de diseño, construcción o ampliación, debe conocerse el levantamiento topográfico planialtimétrico del municipio y de sus áreas de expansión, en el que figuren :

- El perímetro urbano.
- Distribución espacial de la población y de la demanda.
- Las calles aprobadas existentes y las aprobadas por la oficina de planeación municipal.
- Plan de expansión vial.
- Las áreas de expansión futuras, previstas en el plan de desarrollo del municipio.
- Las áreas cuyo desarrollo futuro es evidente.
- La indicación del número de edificios en cada manzana del municipio.
- Las áreas en donde el desarrollo urbano se encuentre prohibido.
- Las vías de ferrocarril y carreteras intermunicipales existentes y proyectadas.
- Los cursos de agua con sus obras de canalización, tanto las existentes como las proyectadas.
- Los puentes, viaductos y otros pasos de cursos de agua, vías públicas o calles.

Además, deben conocerse los planos de urbanización y los tipos de pavimento en uso y previstos, así como el levantamiento minucioso de todas las partes del sistema de distribución existente, debidamente localizadas en planos topográficos.

Además, debe conocerse la localización de otras redes de distribución de diferentes servicios públicos, tales como alcantarillados, redes de distribución de gas domiciliario, redes de teléfono y redes de energía.

B.7.2.8 Estudios topográficos

El diseñador debe recopilar la siguiente información topográfica

- Planos aerofotogramétricos del municipio donde va a diseñarse, construirse o ampliarse la red de distribución.
- Planos de catastro de instalaciones de sistemas de infraestructura, tales como energía, teléfonos, alcantarillados de aguas lluvias, alcantarillados de aguas negras y otras obras de infraestructura.
- En caso de que existan, a nivel del prediseño y del diseño de las redes de distribución deben utilizarse los planos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), a escala 1: 2000

- Fotografías aéreas existentes para el municipio, que incluyan la zona donde va a diseñarse, construirse o ampliarse la red de distribución de agua potable.
- Los planos de catastro o inventario de redes existentes que tengan relación con la red que va a diseñarse, construirse o ampliarse.

B.7.2.9 Condiciones geológicas

Deben conocerse todas las condiciones geológicas y las características del subsuelo en las zonas del trazado de la red de distribución. Utilizando planos geológicos y/o información de campo, deben identificarse las zonas de fallas, de deslizamiento, de inundación y, en general, todas las zonas que presenten algún tipo de problema causado por fallas geológicas.

Debe recopilarse la información sobre sondeos eventualmente existentes que hayan sido hechos para el desarrollo o construcción de obras en el perímetro urbano del municipio.

Deben conocerse específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona en la cual se localiza el municipio en el cual se diseña o construye la red de distribución. En particular, debe tenerse en cuenta todo lo establecido por la NSR-98, con respecto a los niveles de amenaza sísmico de las diferentes zonas del territorio nacional. Es obligación del diseñador conocer el nivel de amenaza sísmico del municipio objeto del estudio para la red de distribución.

B.7.2.10 Factibilidad de ampliación

En caso de diseño de una nueva red de distribución de agua potable, podrá establecerse la construcción de esta por etapas siguiendo lo establecido en el análisis de costo mínimo. De todas formas, cada una de las etapas en que se construya la red de distribución debe estar diseñada óptimamente, de acuerdo con lo establecido en el literal B.7.2.4. Para la ampliación de la red se aceptan tramos que sin constituir malla sean empataados a circuitos secundarios, terminados en tapones provistos de válvulas para las futuras expansiones del sistema.

En el caso de ampliaciones de redes existentes, el diseño debe estar optimizado de acuerdo con lo establecido en el literal B.7.2.3.

B.7.2.11 Recomendaciones sobre el trazado de la red de distribución

Para el trazado de la red de distribución deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones :

1. Las tuberías de la red matriz deben ubicarse cerca de los grandes consumidores y de las áreas de mayores consumos específicos buscando, además, optimizar las longitudes de las tuberías.
2. Deben analizarse las redes menores existentes evaluando sus necesidades de refuerzo y ubicar en las redes matrices los nodos de caudal y presión necesarios y futuras interconexiones.
3. Debe evitarse ubicar las tuberías en calles que ya tengan implantadas tuberías de acueducto de diámetros mayores.
4. Deben utilizarse al máximo las áreas públicas evitando adquisiciones o expropiaciones de terrenos particulares.
5. Para tuberías nuevas con diámetros mayores a 300 mm (12 pulgadas), deben evitarse vías públicas con tráfico intenso y con dificultad de manejo de tráfico durante la ejecución de las obras.
6. Deben evitarse interferencias principalmente con estructuras mayores u otros servicios, y aquellas cuya relocalización sea costosa o presente dificultades técnicas importantes.
7. Deben evitarse rutas junto a quebradas o cañadas en donde normalmente existe concentración de servicios de aguas lluvias y alcantarillado, así como la ocurrencia de suelos aluviales y nivel freático elevado.
8. Deben buscarse rutas con topografía suave, evitando piezas especiales y accesorios.
9. Deben minimizarse los desvíos e interrupciones del tráfico durante la ejecución de la obra.

10. Debe disminuirse la cantidad de rotura y la reconstrucción de pavimentos, seleccionando hasta donde sea posible zonas verdes y sin pavimentar.
11. En todos los casos la localización de las redes matrices nuevas dependerá esencialmente de las tuberías matrices existentes, tratando de aprovechar al máximo la prolongación de ellas y la integración de las mismas.
12. Deben disponerse las tuberías de mayor diámetro formando una red enmallada sin puntos aislados teniendo en cuenta los sistemas separados para control de presión y la zonificación de las áreas de consumo.
13. Debe hacerse un análisis de los servicios existentes en la zona y una consulta con las diferentes entidades públicas, con el fin de localizar los servicios existentes o proyectados para reducir al mínimo las interferencias durante el período de construcción.

Además de lo anterior, deben seguirse las siguientes recomendaciones:

1. Las áreas de mayor consumo deben servirse de los conductos principales.
2. Las áreas de menor consumo deben servirse de los conductos secundarios, formando en lo posible redes enmalladas.
3. Se aceptan tramos secundarios abiertos siempre y cuando terminen en conexiones domiciliarias o en tapones provistos de válvula de purga, que sirvan para la limpieza de la tubería o para expansiones futuras del sistema.
4. No deben proyectarse redes de distribución en las zonas de población dentro del perímetro urbano cuya densidad sea menor que 30 habitantes por hectárea, a menos que sean identificadas y justificadas como zonas de desarrollo urbano, con base en la tendencia de crecimiento de la vivienda del municipio o en planes masivos dentro del perímetro urbano, y que su costo no encarezca desproporcionadamente el sistema en razón de sus características y ubicación.
5. No deben proyectarse redes de distribución en aquellas zonas que sean inundables periódicamente por el mar o por las crecientes de ríos, salvo cuando sea imprescindible ubicar algún conducto principal por zonas de tales características.

B.7.2.12 Áreas por abastecer

El área por abastecer debe contener la población de proyecto y las áreas industriales y comerciales presentes y resultantes de la expansión futura. En caso de que en el municipio no exista un plan de desarrollo, deben considerarse como áreas de expansión aquellas que presenten un desenvolvimiento promisorio relacionado con factores que estimulen el crecimiento de la región.

El área por abastecer debe ser definida mediante la interrelación con carreteras, calles, ríos y otros accidentes geográficos y debe ser demarcada en planos espacialmente reservados para esa finalidad, cuya escala permita mostrar las características geométricas del municipio y los accidentes geográficos utilizados para la demarcación.

Para los **niveles medio alto y alto de complejidad**, en el caso de redes para urbanizaciones, debe observarse adicionalmente los siguientes requisitos:

1. Todo proyecto de urbanizaciones debe cumplir con lo dispuesto en el decreto 951 del 4 de mayo de 1989, del Departamento Nacional de Planeación o el que lo reemplace, el cual establece el reglamento general (ley 142/94 título VIII), o la que la reemplace, para la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado en todo el territorio nacional.
2. El constructor debe empatar la red de la urbanización a las redes oficiales en el diámetro aprobado por la empresa prestadora del servicio municipal. La extensión sólo debe hacerse por vías o fajas públicas.
3. En las urbanizaciones no se considera como red asociada a la red del municipio las tuberías de acueducto de diámetro inferior a 50 mm (2 pulgadas). Por lo tanto, el urbanizador debe construir la red proyectada cuando existan tuberías de acueducto con diámetro inferior a 50 mm (2 pulgadas).

4. En ningún caso el constructor puede operar las válvulas de las redes que ya tengan servicio, incluidas las de la urbanización misma.

B.7.2.13 Amenaza sísmica

Debe establecerse la amenaza sísmica del municipio en el cual va a diseñarse, construirse o ampliarse la red de distribución, teniéndose en cuenta lo establecido por la NSR-98 (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismoresistente) al respecto. Deben tenerse en cuenta los mapas de amenaza sísmica existentes para la zona en la cual se localice el municipio. Los materiales y las tuberías, especialmente sus juntas, deben estar diseñados para soportar los esfuerzos de tensión y de corte generados por el sismo de diseño aplicables al municipio.

B.7.3 CONDICIONES GENERALES

Para el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de las redes de distribuciones deben identificarse las alternativas de distribución por gravedad, por bombeo y mixtas. Además deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones generales:

B.7.3.1 Capacidad de la red

La red de distribución de agua potable debe proyectarse de tal forma que asegure en todo momento el suministro directo y adecuado de agua potable al mayor porcentaje de la población, dentro de los límites dados por las condiciones socioeconómicas de la localidad con una presión suficiente y continua en todas las partes del sistema y cumpliendo todo lo establecido por el decreto 475/98 de los Ministerios de Salud Pública y de Desarrollo Económico, o el que lo reemplace.

Debe tenerse presente que la función de sanidad del sistema de abastecimiento sólo se cumple si el agua se suministra dentro de las viviendas, en forma continua, con calidad y cantidad adecuadas.

Adicionalmente, para el cálculo de la red de distribución deben tenerse en cuenta los siguientes puntos :

1. Las tuberías principales se calculan con el caudal acumulado que les corresponda a partir del caudal de diseño, tal como se especifica en el literal B.7.4, Parámetros de diseño.
2. La red de distribución principal debe considerar las distintas etapas del proyecto, así como los caudales correspondientes estimados para cada una de ellas, teniendo en cuenta lo establecido en el Título A - Análisis de costo mínimo.
3. Para el cálculo de la red de distribución debe considerarse la zona urbana actual, de acuerdo con sus densidades actuales y probables y con los caudales resultantes correspondientes.
4. Deben considerarse los siguientes tipos de ocupación del suelo en la definición de las áreas específicas por abastecer:
 - Áreas residenciales
 - Áreas comerciales
 - Áreas industriales
 - Áreas verdes
 - Áreas mixtas
5. Para la definición de los caudales de distribución, debe tenerse en cuenta a aquellos consumidores individuales, los consumidores preferenciales localizados fuera del área abastecida y a los puntos importantes para la lucha contra incendios.
6. Para aquellas áreas cuyo desenvolvimiento futuro no está definido deben poder fijarse consumos globales que serán atendidos a partir de derivaciones previstas en el sistema de distribución.
7. La estimación de los caudales de consumo para las diferentes categorías de usuarios se hará así:

- a) En las poblaciones ya dotadas de abastecimiento de agua, con consumo medio, mediante el análisis de los datos de medición.
 - b) En los municipios que no tengan datos de consumo se utilizarán los datos de poblaciones semejantes próximas considerando el grado de semejanza de las condiciones socioeconómicas.
 - c) En los casos en los que exista una carencia notable del recurso agua, este factor podrá ser considerado como limitante de consumo.
 - d) Los consumidores preferenciales ubicados por fuera del área de abastecimiento, así como los consumidores individuales, serán definidos mediante encuesta, en la que deben constar los elementos que permitan evaluar los consumos iniciales y futuros.
8. Los puntos para la lucha contra incendios (hidrantes) deben ser definidos mediante consulta con el cuerpo de bomberos local; de no existir éste, mediante la localización en planta de las áreas comerciales, las áreas industriales, los edificios de uso público y de los edificios cuya preservación interese a la comunidad (edificios históricos, edificios de conservación arquitectónica, patrimonios culturales, etc.).

B.7.3.2 Delimitación de zonas de presión

La red de distribución de agua potable 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. El establecimiento de las zonas de presión se hace con el fin de obtener la máxima uniformidad en el gradiente de presiones entre los tanques o estaciones de bombeo y los puntos de mínima presión.

Además, deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

1. Las áreas que estén ubicadas en terrenos altos y que requieran mayores presiones para ser abastecidas deben tener, en lo posible, sistemas separados de presión, debiendo mantenerse las presiones por medio de tanques elevados o, en última instancia, por bombeo.
2. La red de distribución debe estar subdividida en las zonas de presión que sean necesarias para atender las condiciones de presión impuestas por el presente código.
3. Partes de una misma zona de presión podrán presentar presiones estáticas mayores a la máxima definida y menores que la mínima fijada, siempre y cuando sean cumplidas las condiciones siguientes:
 - a) El área por abastecer con presión estática superior en 20% al máximo establecido para esa zona de presión podrá corresponder al 10% del área de la zona. El área por abastecer con una presión estática superior en un 40% a la presión máxima establecida podrá corresponder hasta 5% del área de la zona de presión.

En todos los casos debe contarse con la tubería y accesorios adecuados.

- b) El área por abastecer con presión dinámica mínima igual a las dos terceras partes del mínimo establecido para la zona de presión, debe corresponder como máximo al 10% del área de la zona de presión. El área por abastecer con presión dinámica mínima inferior a la mitad del mínimo establecido podrá corresponder al 5% del área de la zona de presión. En ningún caso se permite un valor inferior al mínimo establecido en la tabla B.7.4, literal B.7.4.5.1.
 - c) Las presiones estáticas y dinámicas serán referidas así: la primera, con respecto al nivel de agua máximo, y la segunda, al nivel de agua mínimo de los tanques o embalses de distribución.
4. Las regiones pertenecientes al área de abastecimiento, que por sus características no tengan consumidores en su interior, no serán consideradas en la estimación de las presiones máximas disponibles pero deben ser consideradas para el cálculo de las presiones mínimas.
 5. Las presiones de la zona de presión de la red de distribución deben estar condicionadas por la ubicación de los tanques de distribución.

6. Cuando una zona para la localización de un tanque no presente cota suficiente para garantizar las condiciones de presión necesarias para el correcto funcionamiento de la red, la distribución debe hacerse a partir de un tanque elevado.

B.7.3.3 Sectorización del servicio

Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** la red de distribución de agua potable debe estar sectorizada a fin de lograr racionalización del servicio.

Para el **nivel medio de complejidad** se recomienda que la red esté sectorizada.

Para el **nivel bajo de complejidad** no se requiere que la red esté sectorizada

La sectorización del servicio debe buscar los siguientes objetivos:

1. Controlar fugas en las zonas de presión.
2. Controlar la presión en diferentes zonas.
3. Facilitar las labores de mantenimiento preventivo programado.
4. Controlar el agua no contabilizada.
5. Optimizar la operación del servicio.
6. Prever la concesión de la operación de la red a diferentes empresas prestadoras del servicio.

B.7.3.4 Trazado de la red

En todos los casos debe procurarse que la red conforme circuitos o mallas. La forma de los mismos y la longitud de las tuberías primarias que los integren deben ceñirse a las características topográficas del municipio, a la densidad de población actual por abastecer y a la ubicación del tanque o tanques de almacenamiento de alimentación. Debe tenerse en cuenta el futuro desarrollo del municipio con el fin de prever las posibilidades de ampliación de la red.

La distribución no enmallada sólo podrá aplicarse en municipios con poblaciones poco densas, donde los tramos de tuberías necesarios para cerrar los circuitos resulten muy largos o de escasa utilización.

B.7.3.4.1 Trazado de las tuberías matrices o primarias

Las tuberías primarias deben ubicarse en calles existentes, cerca de las áreas en donde se prevé el abastecimiento de agua para el control de incendios y tan cerca cuanto sea posible de los consumidores especiales.

B.7.3.4.2 Trazado de las tuberías secundarias (de 6 pulgadas a 12 pulgadas)

Las tuberías secundarias deben formar circuitos cerrados siempre que:

- El área por abastecer sea mayor a 1 km^2
- La distancia promedio entre las tuberías secundarias paralelas sea mayor de 250 m.
- La distancia entre la tubería secundaria que se ubica más próxima al límite del área a abastecer y el perímetro de esta área sea igual o mayor que 150 m.

Las tuberías secundarias deben conformar circuitos cerrados cuando no se tengan en cuenta las condiciones anteriores, siempre que:

- Así lo indique la empresa prestadora del servicio.
- Se desee garantizar mayor seguridad al abastecimiento.
- El caudal máximo previsto en el área por abastecer con el circuito cerrado sea mayor que 25 L/s.

B.7.3.4.3 Trazado de las redes menores de distribución o terciarias

Las redes menores de distribución deben conformar circuitos cerrados por interconexiones en los puntos de cruce, o pueden ser independientes, siempre y cuando en el futuro se prevea su alimentación por los dos extremos y se garantice que se cumpla con la presión y la colocación conjunta de las tuberías principales de alimentación.

La red de distribución debe ser doble, con la ubicación de las tuberías en los dos andenes, o junto a ellos cuando ocurra cualquiera de los siguientes casos :

1. La red está ubicada en una calle con tráfico intenso.
2. El ancho de la calle sea mayor que 15 m.
3. Un análisis económico involucrando el costo de las acometidas y de las tuberías concluya que sea más económica la implantación de una red doble.

B.7.3.5 Edificios

En caso de que en el municipio existan edificios en los cuales la presión mínima no sea suficiente para llegar a los departamentos más altos, cada uno de ellos debe tener su propio sistema hidroneumático o de bombeo de agua interno para producir las presiones suficientes que permitan llevar el agua hasta los pisos más altos. Se prohíbe instalar bombeos directos desde la red pública, es decir, siempre debe instalarse un tanque de succión.

Las instalaciones de los equipos hidroneumáticos y demás redes internas deben cumplir con la norma técnica NTC-1500, Código Colombiano de Fontanería.

B.7.3.6 Vulnerabilidad de la red de distribución

Debe establecerse el nivel de vulnerabilidad de la red de distribución. En caso de que por razones geológicas, topográficas, sísmicas o cualquier otro tipo de razón se considere que la red de distribución es altamente vulnerable, en el diseño debe tenerse en cuenta la facilidad y rapidez de reparación de la red en caso de daños. Debe tenerse especial cuidado en la sectorización de la red y en la facilidad del aislamiento de la red de acuerdo con lo establecido en el literal B.7.6, Accesorios, de este título.

B.7.3.7 Otros

En general, la red de distribución debe ubicarse por las zonas públicas como: calzadas, andenes, zonas verdes. En caso de que deba instalarse por zonas privadas se debe constituir servidumbre a favor de la empresa prestadora del servicio. Se debe llevar la red hasta el frente de las viviendas.

B.7.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

Dentro de la ejecución del diseño de un sistema de redes de distribución de agua potable es necesaria una etapa inicial de planeamiento que garantice que el esquema de obras propuesto atienda los requerimientos futuros de la demanda de agua en cuanto a cantidad y oportunidad.

En la etapa de planeamiento, se parte de un diagnóstico de la red de distribución existente y se identifican, plantean y analizan diferentes alternativas de optimización y ampliación del sistema de redes de tuberías, con el fin de atender los requerimientos futuros de la demanda, dentro de un determinado período de diseño.

B.7.4.1 Período de diseño

Para todos los niveles de complejidad, los proyectos de redes de distribución de acueducto deberán ser analizados y evaluados teniendo en cuenta el período de diseño, llamado también horizonte de planeamiento del proyecto, con el fin de definir las etapas de diseño según las necesidades del proyecto, basadas en la metodología de costo mínimo.

El período de diseño de las redes de distribución de agua potable es función del nivel de complejidad del sistema y se encuentra establecido en las siguientes tablas:

B.7.4.1.1 Período de diseño de la red matriz o primaria

El período de diseño de la red matriz se encuentra establecido en la tabla B.7.1.

TABLA B.7.1

Período de diseño según el nivel de complejidad del sistema para redes matrices

Nivel de complejidad del sistema	Período de diseño
Medio	20 años
Medio alto	25 años
Alto	30 años

B.7.4.1.2 Período de diseño de la red de distribución secundaria o red local

El período de diseño de la red secundaria se establece en la tabla B.7.2

TABLA B.7.2

Período de diseño según el nivel de complejidad de sistema de redes secundarias

Nivel de complejidad del sistema	Período de diseño
Bajo	15 años
Medio	15 años
Medio alto	20 años
Alto	25 años

B.7.4.1.3 Período de diseño de redes menores de distribución o red terciaria

Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** en los cuales pueden existir redes menores de distribución, el período de diseño debe corresponder al tiempo esperado para alcanzar la población de saturación. Sin embargo, el período de diseño para redes menores no puede ser superior al tiempo establecido en la tabla B.7.3.

TABLA B.7.3

Período de diseño según el nivel de complejidad del sistema de redes terciarias

Nivel de complejidad	Período de diseño
Bajo	15 años
Medio	20 años

B.7.4.2 Caudal de diseño

El caudal de diseño depende del nivel de confiabilidad del sistema, tal como se discrimina a continuación :

1. Para el **nivel bajo de complejidad**, el caudal de diseño será el caudal máximo horario (QMH).
2. Para los **niveles medio y medio alto de complejidad**, el caudal de diseño debe ser el caudal máximo horario (QMH) o el caudal medio diario (Qmd) más el caudal de incendio, el que resulte mayor de cualquiera de los dos.
3. Para el **nivel alto de complejidad**, el caudal de diseño debe ser el caudal máximo horario (QMH).

B.7.4.3 Pérdidas en la red de distribución

Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, desde la concepción del proyecto y la realización del diseño, debe tenerse en cuenta una distribución de la red que permita el control de las pérdidas de agua en ésta. Este control implica la localización de fugas no visibles en la red y la localización de conexiones clandestinas, cuyo objetivo es el de disminuir la cantidad de agua no facturada en la red. El programa de localización y reducción de pérdidas debe seguir las metas establecidas en la Ley 373 de 1997, o la que la reemplace, en su artículo 4º y debe estar acorde con las disposiciones de las CRA y las Corporaciones Regionales.

Esta sectorización de la red debe estar acompañada, en el caso del **nivel alto de complejidad**, de los correspondientes instrumentos telemétricos que permitan un control en tiempo real del consumo de agua en un sector de la red.

Para los **niveles bajo y medio de complejidad**, se recomienda que exista, desde la etapa de diseño, una metodología para el control de pérdidas en la red.

B.7.4.4 Calidad de agua en la red

En la etapa de diseño en la red de distribución de agua potable para un municipio, es necesario conocer la calidad de agua en cada uno de los puntos de la red, dados los niveles de cloro y de otros químicos, así como de turbiedad del agua en las plantas y los tanques de abastecimiento en los cuales pueda existir la adición de químicos, para asegurar desde la etapa de diseño que el agua cumplirá en toda la red de distribución con la calidad de agua estipulada en el decreto 475 de 1998, o el que lo reemplace.

Con respecto a los niveles de confiabilidad del sistema deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para los niveles **medio y medio alto de complejidad** debe considerarse la calidad de agua en el diseño de la red de distribución. Debe conocerse la calidad del agua, a través de diferentes parámetros, que existe en cada uno de los nodos de la red.
2. Para el **nivel alto de complejidad** debe considerarse la calidad del agua en el diseño de la red de distribución. La calidad del agua debe ser el parámetro utilizado para seleccionar los puntos óptimos en la red de distribución en los cuales debe hacerse una adición de químicos. En la etapa de diseño debe conocerse la calidad del agua, con el estudio de diferentes factores, para cada uno de los nodos de la red principal.
3. Para el **nivel bajo de complejidad** no se requiere considerar la calidad del agua en el diseño de la red de distribución. Sin embargo, se recomienda considerar la calidad del agua para el diseño de dicha red de distribución, con el fin de conocer la cantidad de elementos químicos que deben ser añadidos al agua en la planta de tratamiento.

B.7.4.5 Presiones en la red de distribución

Además de lo establecido en el literal B.7.3.3, Delimitación de zonas de presión, para el diseño de la red de distribución deben tenerse en cuenta los siguientes requerimientos para las presiones:

B.7.4.5.1 Presiones mínimas en la red

La presión mínima en la red depende del nivel de complejidad del sistema, tal como se especifica a continuación:

TABLA B.7.4
Presiones mínimas en la red de distribución

Nivel de complejidad	Presión mínima (kPa)	Presión mínima (metros)
Bajo	98.1	10
Medio	98.1	10
Medio alto	147.2	15
Alto	147.2	15

Las presiones mínimas establecidas en este literal deben tenerse cuando por la red de distribución esté circulando el caudal de diseño.

B.7.4.5.2 Presiones máximas en la red menor de distribución:

El valor de la presión máxima tenida en cuenta para el diseño de las redes menores de distribución, para todos los **niveles de complejidad del sistema**, debe ser de 588.6 kPa (60 mca).

La presión máxima establecida en este literal corresponde a los niveles estáticos, es decir, cuando no haya flujo en movimiento a través de la red de distribución pero sobre ésta esté actuando la máxima cabeza producida por los tanques de abastecimiento o por estaciones elevadoras de presión.

La presión máxima no debe superar la presión de trabajo máxima de las redes de distribución, establecidas en las normas técnicas correspondientes a cada material. (Véase tabla B.6.17)

En caso de ser necesaria una presión superior al límite máximo establecido en este literal, debe solicitarse autorización a la SSPD.

B.7.4.6 Diámetros de las tuberías en la red de distribución

B.7.4.6.1 Diámetros internos mínimos en la red matriz

Para aquellos casos de los niveles **bajo y medio de complejidad** en los cuales exista una red matriz y para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, los diámetros mínimos para la red matriz se describen en la tabla B.7.5

TABLA B.7.5
Diámetros mínimos de la red matriz

Nivel de complejidad de sistema	Diámetro mínimo
Bajo	64 mm (2.5 pulgadas)
Medio	100 mm (4 pulgadas)
Medio alto	150 mm (6 pulgadas)
Alto	300 mm (12 pulgadas) o más según diseño

B.7.4.6.2 Diámetros internos mínimos en las redes menores de distribución

El valor del diámetro mínimo de las redes menores de distribución depende del nivel de complejidad del sistema y del usos del agua, tal como se muestra en la tabla B.7.6

TABLA B.7.6
Diámetros mínimos de la red menor de distribución

Nivel de complejidad	Diámetro mínimo	
Bajo	38.1 mm	(1.5 pulgadas)
Medio	50.0 mm	(2.0 pulgadas)
Medio alto	100 mm	(4 pulgadas) Zona comercial e industrial
	63.5 mm	(2 ½ pulgadas) Zona residencial
Alto	150 mm	(6 pulgadas) Zona comercial e industrial
	75 mm	(3 pulgadas) Zona residencial

B.7.4.6.3 Diámetros comunes comerciales para la red de distribución

En la tabla B.7.7 se establecen los diámetros que pueden ser utilizados para el diseño y/o la construcción de una red de distribución, acogiéndose a las limitaciones establecidas en los literales B.7.4.6.1 y B.7.4.6.2

TABLA B.7.7
Diámetros comunes comerciales para las tuberías de una red de distribución

Milímetros	Pulgadas
38.1	1.5
50.0	2
63.5	2.5
75.0	3
100	4
150	6
200	8
250	10
300	12
350	14
400	16
450	18
500	20
550	22
600	24
675	27
700	28
750	30
900	36
1000	40
1050	42
1200	48
1500	60

Lo anterior no excluye la utilización de otros diámetros, que pueden ser fabricados bajo pedido especial. En ningún caso se debe utilizar en redes menores diámetros inferiores a 38.1 mm (1 ½")

B.7.4.6.4 Diámetros para el cálculo hidráulico de la red

La lista de diámetros dada en el literal anterior corresponde a los diámetros nominales de las tuberías comerciales que pueden ser admitidas para el diseño o la construcción de un sistema de distribución de agua potable. Sin embargo, los cálculos hidráulicos de la red de distribución deben hacerse con los diámetros reales internos de las tuberías y materiales escogidos.

B.7.4.6.5 Diámetro de hidrantes

Los diámetros mínimos de los hidrantes contra incendios, colocados en la red de distribución de agua potable, dependen del nivel de complejidad del sistema, tal como se especifica a continuación:

1. Para los niveles **bajo y medio de complejidad**, el diámetro mínimo de los hidrantes será de 75 mm (3 pulgadas).
2. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, los diámetros mínimos de los hidrantes serán de 100 mm (4 pulgadas), para sectores comerciales e industriales, o zonas residenciales con alta densidad. Para las zonas residenciales con densidades menores a 200 Hab/Ha, el diámetro mínimo de los hidrantes debe ser de 75 mm (3 pulgadas).

B.7.4.7 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 juntas, si estas son del tipo flexible. Sin embargo para municipios situados en zonas de amenaza sísmica alta no se recomienda deflectar las tuberías en las uniones mecánicas, con el fin de mantener su flexibilidad y dar seguridad a la red. En el caso de juntas flexibles, la deflexión máxima posible en cada junta, con excepción de los de juntas con características especiales, será la indicada por el fabricante de la tubería pero nunca podrán ser superiores a los valores de la tabla B.7.8.

TABLA B.7.8.
Deflexiones máximas posibles en tuberías

Diámetro tubo (mm)	Deflexiones (grados-minutos)
38.1	3° 0´
50.8	3° 0´
63.5	3° 0´
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 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.

B.7.4.8 Materiales para las tuberías de la red de distribución

Para la construcción de una red de distribución de agua potable pueden utilizarse los siguientes materiales :

- Acero con revestimiento anticorrosivo interno y externo (A).
- Asbesto Cemento (AC).
- Cobre para instalaciones domiciliarias, tipo K, de temple suave, con la cual deben utilizarse accesorios abocinados, especiales para tuberías de cobre, para garantizar uniones impermeables. No se permiten uniones con soldadura de estaño en sistemas de agua potable.

- Concreto con o sin cilindro de acero (CCP).
- Hierro dúctil (HD).
- Hierro fundido (HF).
- Polivinilo de cloruro (PVC).
- Poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP).
- Polietileno de alta densidad (PEAD).
- Polietileno de baja densidad (PEBD)

Podrán utilizarse otros materiales, siempre y cuando cuenten con la aprobación de la CRA. La Junta Técnica Asesora del Reglamento podrá incorporar nuevos materiales a este Reglamento, siempre y cuando cumplan con las Normas Técnicas Colombianas correspondientes, o en su defecto, con normas técnicas ASTM, AWWA, ISO, DIN o cualquier otra entidad internacional de normalización.

La selección del material podrá considerar las características de cada uno dadas en la tabla B.6.15.

Además, para la selección de los materiales que conforman las tuberías deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. Todas las tuberías deben cumplir con las especificaciones que han elaborado para cada tipo el Instituto Nacional de Normas Técnicas (ICONTEC), o bien con las normas AWWA, ISO, ASTM, DIN o de cualquier otra agencia internacional. (Véase tablas B.6.16 y B.6.17)
2. Los accesorios deben ser los recomendados por los fabricantes de las tuberías empleadas y deben cumplir las normas ICONTEC, AWWA, ISO, ASTM, DIN o cualquier otra agencia internacional encargada del manejo del agua potable. (Véase tabla B.6.20)
3. La elección del material para la red de distribución debe efectuarse con base en las características topográficas, la agresividad con el suelo al material de la tubería, las presiones máximas y mínimas que deban lograrse en el diseño, el análisis económico, los costos de mantenimiento, etc.
4. El sistema de distribución puede estar constituido por tramos de diferentes materiales, elegidos en conformidad con su tipo de funcionamiento, operación y mantenimiento, condiciones de implementación en el terreno y esfuerzos actuantes. Similarmente, en el caso de ampliaciones de redes de distribución de agua potable puede utilizarse materiales diferentes para las nuevas tuberías.
5. En los puntos de transición de los tramos de diferentes materiales deben disponerse elementos especiales destinados a facilitar la unión de los tramos, impidiendo pérdidas de agua o generación de esfuerzos o cualquier otro fenómeno capaz de perjudicar el sistema. Igualmente, estos elementos especiales deberán producir las menores pérdidas de cabeza posibles.
6. Contar con un inventario de repuestos y accesorios para la colocación y empate con tuberías de un material diferente.

En la selección de los materiales para las tuberías deben tenerse en cuenta, además, los siguientes factores:

- Atoxicidad.
- Resistencia contra la corrosión y agresividad del suelo.
- Resistencia esfuerzos mecánicos producidos por las cargas, tanto externas como internas.
- Características de comportamiento hidráulico del proyecto (presiones normales de trabajo, presiones estáticas, golpe de ariete).
- Condiciones de instalación adecuadas al terreno del municipio.
- Condiciones económicas, teniendo en cuenta todo lo establecido para el análisis del costo mínimo.
- Resistencia contra la tuberculización e incrustación en el interior de la tubería.

- Vida útil de acuerdo con el diseño del proyecto.

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 ítems antes indicados, sino examinándolos globalmente, considerando principalmente los costos inicial y de mantenimiento así como la seguridad de la red de distribución.

Con respecto a las características de los diferentes tipos de material para tuberías, con sus ventajas y desventajas, la tabla B.6.15 muestra un resumen de las características principales de los diferentes materiales con que son fabricadas las tuberías para conductos a presión.

B.7.4.9 Métodos de cálculo

B.7.4.9.1 Cálculo de caudales por nodo

La determinación de caudales de consumo para cada uno de los nodos de la red debe efectuarse por el método de las áreas o por el método de la repartición media. En el caso de redes simétricas y más o menos uniformes, también puede utilizarse el método de la longitud abastecida.

1. Método de las áreas

En este método se determinan las áreas de influencia correspondientes a cada uno de los nodos de la red, para luego aplicar el caudal específico unitario (l/s/ha) determinado para cada tipo de área de abastecimiento y correspondiente al año horizonte del proyecto.

$$Q_i = A_i \cdot Q_e \quad (\text{B.7.1})$$

El área de influencia es aquella área delimitada por cada una de las mediatrices de los tramos que llegan al nodo o punto singular.

2. 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, tuberías terciarias y ramales abiertos) y se asignan los caudales de las tuberías secundarias, terciarias y ramales a las tuberías, de acuerdo con una distribución lógica del flujo. Dichos caudales se reparten por mitades a cada uno de los nodos extremos de los tramos respectivos.

Para la distribución de los caudales por nodo también deben seguirse las siguientes recomendaciones:

- a) Se admite que la ubicación de los caudales de distribución en las tuberías de las redes matrices se haga con puntos ficticios separados por una longitud máxima de 500 metros, o en los puntos conocidos de interconexión con tuberías de 300 mm (12 pulgadas) o mayores.
- b) A cada punto corresponderá el consumo de una parte del área por abastecer.
- c) En la ubicación de los caudales deben preverse las demandas de todas las áreas de diseño.
- d) Se admite que la distribución se haga de manera uniforme en cada uno de los tramos de la red de distribución.
- e) Debe determinarse la pérdida de cabeza en un tramo para el caudal de distribución a lo largo del tramo.
- f) A los consumidores especiales debe corresponder un punto individual en la red principal, si ella conforma circuitos cerrados, o una derivación, si la red es abierta. Debe considerarse como consumidor especial aquel cuyo consumo presenta las siguientes características:
 1. Cuando en la red abierta el consumo sea igual o mayor que el menor caudal que ocurriría si el consumidor no existiera, en cualquiera de los puntos ficticios de consumo de las tuberías principales.
 2. Cuando en la red abierta el consumo sea igual o mayor que el menor caudal de sus derivaciones.

- g) La red podrá ser dimensionada considerando un caudal adicional para control de incendio, establecido a partir del análisis de las condiciones existentes de control de incendios, las orientaciones del cuerpo de bomberos, las condiciones socioeconómicas, la necesidad de bomberos, la necesidad de protección contra incendio y el criterio de presión mínima de la red. El caudal admisible debe ser fijado por la empresa prestadora del servicio en el municipio, considerando el análisis efectuado por el diseñador.

B.7.4.9.2 Cálculo hidráulico de la red de distribución

Para el cálculo hidráulico de la red de distribución deben utilizarse los métodos de la Teoría Lineal o del Gradiente (o de Hardy Cross), el de las Longitudes Equivalentes, o cualquier otro método de cálculo similar, el cual debe ser previamente aprobado por la empresa encargada del servicio.

Además, deben tenerse en cuenta las siguientes especificaciones:

1. Puede utilizarse software especializado para el cálculo hidráulico de la red, los cuales son programas comerciales ampliamente conocidos y que están basados en los métodos anteriormente mencionados. En caso de que para el diseño de la red de distribución se opte por un programa basado en métodos diferentes, éste debe ser aprobado por la empresa prestadora del servicio.
2. De todas formas, el método de cálculo o el programa utilizado para el análisis hidráulico de la red debe permitir el análisis de líneas abiertas, en conjunto con el de las redes cerradas.
3. El método o programa de computador, debe permitir el cálculo optimizado de la red de distribución. Esto quiere decir que los diámetros resultantes para cada una de las tuberías que conforman la red de distribución deben estar optimizados desde el punto de vista de los costos globales de la red.
4. Los errores de cierre para el cálculo hidráulico de la red serán como máximo 0.10 mca, en el caso de que el criterio de convergencia sea la cabeza piezométrica en los nodos de la red, o 1.0 l/s en el caso de que el criterio de convergencia sea el cumplimiento de la ecuación de continuidad en cada uno de los nodos de la red.
5. Para el cálculo hidráulico de la red, el programa o método utilizado debe hacer uso de las ecuaciones de pérdida de cabeza en una tubería simple, tal como se establece en el siguiente literal.

B.7.4.9.3 Ecuaciones para la pérdida por fricción en tuberías

Para el cálculo hidráulico y la determinación de las pérdidas por fricción en tuberías a presión debe utilizarse la ecuación de Darcy-Weisbach, en conjunto con la ecuación de Colebrook y White. También puede utilizarse cualquier otro tipo de ecuación para flujo a presión, tal como la ecuación de Hazen-Williams, con la debida consideración de los rangos de validez y la exactitud de cada una de ellas.

La ecuación de Darcy-Weisbach, en conjunto con la ecuación de Colebrook y White, es adecuada para todos los tipos de flujos turbulentos.

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 cabezas 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 pérdidas menores. Para el cálculo de pérdidas menores debe utilizarse el coeficiente de pérdidas menores multiplicado por la cabeza de velocidad en el sitio donde se localice el accesorio. También puede utilizarse el método de las longitudes equivalentes de tubería, añadiendo dichas longitudes a la longitud real del tramo, siempre y cuando el programa utilizado permita la entrada de la longitud de cada tubería de la red como uno de los datos de entrada del programa.

En caso de que se opte por el uso de la ecuación universal para conductos a presión, debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.4.4.4 Ecuación Universal para conductos a presión.

Para el cálculo de las pérdidas menores debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.4.5, Ecuación para el Cálculo de las Pérdidas Menores.

B.7.4.9.4 Golpe de ariete en redes de distribución

Una vez que la red de distribución haya sido diseñada, debe hacerse un análisis de golpe de ariete en la tubería con el fin de verificar que en ninguna parte de esta se produzcan presiones por encima de aquellas admitidas por los materiales de las tuberías que conforman la red. Además de lo establecido en el literal B.6.4.11 de este título, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Análisis del golpe de ariete

El análisis del golpe de ariete en la red de distribución debe considerarse en los siguientes casos:

- a) Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, en los casos de redes principales nuevas o en ampliaciones a las redes principales existentes.
- b) Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, cuando se tengan redes secundarias nuevas o cuando existan cambios sustanciales en la operación de redes secundarias existentes.
- c) Para los niveles **bajo y medio de complejidad**, cuando en las redes de distribución existan bombeos directos.

El objetivo principal del análisis del golpe de ariete en las redes de distribución es el de especificar los tiempos de maniobra y/o dispositivos de control, con el fin de seleccionar la alternativa que ofrezca el menor riesgo contra los efectos del golpe de ariete al mínimo costo.

2. Condiciones para el cálculo del golpe de ariete

El análisis del golpe de ariete en las redes de distribución debe hacerse para las condiciones normales de operación, al igual que para las condiciones excepcionales causadas por posibles emergencias. Dentro de las condiciones normales de operación se encuentran las siguientes:

- Operación de válvulas en la red de distribución.
- Encendido de bombas.
- Apagado de bombas.

Entre las condiciones excepcionales causadas por posibles emergencias se encuentran las siguientes:

- Maniobras de cierre o apertura de válvulas de control.
- Interrupción súbita de algún bombeo dentro de la red de distribución.
- Ruptura de alguna de las tuberías principales de la red de distribución, en especial en aquellas donde se tengan las máximas presiones bajo régimen de flujo permanente.
- Cierre retardado de alguna de las válvulas de retención de la descarga de las bombas antes o simultáneamente con la máxima velocidad de reversa, ocurrida posteriormente a la interrupción del bombeo.

3. Presiones máximas y esfuerzos que deben ser absorbidos

Debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.4.11.3 de este título.

4. Presiones mínimas

Debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.4.11.4 de este título.

5. Celeridad de la onda de presión

Para el cálculo de la celeridad de la onda de presión a través de la red de distribución debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.4.11.5 de este título.

6. Período del golpe de ariete

Para el cálculo del período del golpe de ariete en cada una de las tuberías que conforman la red de distribución debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.4.11.6 de este título.

7. Métodos del cálculo del golpe de ariete en redes de distribución

En redes de distribución el estudio del golpe de ariete debe ser hecho utilizando ya sea el método de las características o algún método de elementos finitos, considerando la columna de agua como elástica, siempre que ocurran las siguientes condiciones, ya sea parcial o totalmente:

- a) Separación de la columna en aquellas tuberías de la red de distribución de cotas más elevadas.
- b) Longitud de las tuberías de la red de distribución inferior a 20 veces la altura piezométrica total medida en la sección de salida de las bombas.
- c) Velocidad media máxima en las tuberías de la red distribución superior a 4 m/s.
- d) Posible falla de cierre de las válvulas a la salida de las bombas.
- e) Presiones actuantes que excedan 2/3 de la presión admisible especificada para clase de tuberías, conexiones y accesorios dentro de la red de distribución.
- f) Que el tiempo que se requiere para alcanzarse el inicio de reversión de la bomba sea menor que el tiempo del período del golpe de ariete.
- g) Que el tiempo de cierre de la válvula de corte sea menor que el período del golpe de ariete.
- h) Que el tiempo de cierre de las válvulas automáticas sea menor que 5 s.

El estudio del golpe de ariete puede hacerse utilizando métodos o programas comerciales de computador que permitan el análisis de fenómenos transientes en redes de distribuciones de agua potable.

B.7.4.9.5 Pérdidas en la red de distribución

Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, deben poderse detectar las fugas y las conexiones clandestinas en la red de distribución a través de un programa de monitoreo, que incluya medidas de presión y caudal, utilización de geófonos y la comparación de las presiones medidas con las presiones teóricas calculadas mediante el uso de algún programa (software) comercial para el cálculo de las redes de distribución.

Se prefiere que las mediciones se realicen en horarios nocturnos o en horas de bajo consumo para lograr mayor eficiencia en los programas de control de pérdidas.

Debe existir un mínimo de 6 puntos para medición de la presión, más un punto por cada 60.000 habitantes. En el **nivel de complejidad alto**, las mediciones deben ser hechas utilizando telemetría.

En el uso de programas de computador, los datos de entrada para el cálculo de la localización de posibles fugas y conexiones clandestinas son los caudales de consumo registrados por la empresa prestadora del servicio para cada uno de los nodos de la red y las presiones medidas en algunos de los nodos de la red. Las presiones medidas para los caudales registrados deben compararse con las presiones que resultan de correr un modelo de la red de distribución sin tener en cuenta las fugas y las conexiones clandestinas. La diferencia entre las presiones calculadas y las presiones medidas debe utilizarse para localizar aquellas zonas o tuberías de la red en las cuales sea más probable la localización de las fugas y de las conexiones clandestinas. Estos datos deben ser enviados a la oficina operativa de la empresa prestadora del servicio y guardados para ser enviados, en caso de ser requeridos, a la SSPD.

B.7.4.9.6 Calidad del agua en la red

Una vez que la red de distribución haya sido diseñada para **todos los niveles de complejidad del sistema** debe calcularse la calidad del agua en cada uno de los nodos de la red, para un nivel de calidad de agua en la (o las) planta(s) de tratamiento y posibles sitios de reinyección de químicos al agua. Debe tenerse en cuenta para dicho cálculo, el hecho de que algunos de los químicos adicionados al agua para preservar su calidad son sustancias no conservativas.

La concentración del cloro residual debe calcularse aplicando una ecuación de conservación de la masa que incluya los procesos de decaimiento de la concentración durante el transporte, decaimiento o crecimiento por reacción., los procesos de mezcla en los nodos de la red, la adición en diferentes puntos de la red y la degradación por retención del agua en los tanques.

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

$$\frac{dc}{dt} = -v * \frac{dc}{dx} - K_b * c - \frac{K_f}{r} * (c - c_w) \quad (\text{B.7.2})$$

El proceso de mezcla en los nodos debe calcularse aplicando la siguiente ecuación de continuidad

$$C_s = \frac{\sum C_{ij} * Q_{ij}}{\sum Q_{ij}} \quad (\text{B.7.3})$$

El proceso en los tanques de almacenamiento puede calcularse con las ecuaciones

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \sum q_e - \sum q_s \\ \frac{d(V * c)}{dt} &= \sum q_e * c_k - \sum q_s * c_j - K_b * c \end{aligned} \quad (\text{B.7.4})$$

B.7.5 OTRAS CONSIDERACIONES

B.7.5.1 Pendientes de las tuberías de la red de distribución

Con el objeto de permitir la acumulación del aire en los puntos altos y su eliminación por las válvulas colocadas con este fin y para facilitar el arrastre de los sedimentos hacia los puntos bajos y acelerar el desagüe de las tuberías, éstas no deben colocarse horizontalmente.

Las pendientes mínimas recomendadas son:

- Cuando el aire circula en el sentido del flujo del agua, la pendiente mínima debe ser 0.04%.
- Cuando el aire circula en sentido contrario al flujo del agua, la pendiente mínima deberá estar entre 0.1 y 0.15%.

En este último caso, la pendiente no debe ser menor que la pendiente de la línea piezométrica o línea de gradiente hidráulico de ese tramo de la red de distribución.

Cuando sea necesario uniformizar pendientes a costa de una mayor excavación, con el fin de evitar un gran número de ventosas y válvulas de purga, debe realizarse una comparación económica de ambas posibilidades.

B.7.5.2 Dimensionamiento estructural de la tubería

El dimensionamiento estructural de las tuberías que conforman la red primaria, para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, depende del material y debe realizarse según lo establecido en el capítulo G.3 - ASPECTOS ESTRUCTURALES.

B.7.5.3 Especificaciones de los revestimientos internos

Además de los aspectos estructurales, para la definición de los materiales de las tuberías para revestimientos internos, deben considerarse las velocidades máximas de operación previstas.

B.7.5.4 Cruces con carreteras o vías férreas

Cuando una o varias de las tuberías que conforman la red de distribución crucen carreteras o vías férreas, las tuberías deben estar acompañadas de estructuras especiales de protección o de sostenimiento que

garanticen la seguridad de la tubería. Se recomienda que los conductos que crucen carreteras o vías férreas se coloquen dentro de camisas de mayor diámetro.

B.7.5.5 Cruces con alcantarillado

En todos los cruces de las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable con tuberías del sistema de alcantarillado, los conductos de la red de distribución deben ir por encima de las tuberías de aguas negras.

B.7.5.6 Cruces con quebradas y otras estructuras

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, deben diseñarse los dispositivos más convenientes y proyectarse las defensas necesarias para garantizar la integridad de los conductos de la red.

B.7.5.7 Distancias mínimas

A continuación se describen las distancias mínimas que deben existir entre los tubos que conforman la red de distribución de agua potable y los ductos de otras redes de servicio públicos:

B.7.5.7.1 Alcantarillado de aguas negras o alcantarillados combinados

Las distancias mínimas entre las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable y las tuberías de alcantarillados de aguas negras o alcantarillados combinados dependen del nivel de complejidad del sistema, tal como se especifica en la tabla B.7.9. Allí, la distancia vertical se entiende como la distancia entre la cota de batea de la tubería de acueducto y la cota clave de la tubería de alcantarillado.

TABLA B.7.9
Distancias mínimas a red de alcantarillado

Nivel de complejidad del sistema	Distancias mínimas
Bajo	1 m horizontal; 0.3 m vertical
Medio	1 m horizontal; 0.3 m vertical
Medio alto	1.5 m horizontal; 0.5 m vertical
Alto	1.5 m horizontal; 0.5 m vertical

Las tuberías de acueducto no pueden estar ubicadas en la misma zanja de una tubería de alcantarillado sanitario o pluvial, y su cota de batea debe estar por encima de la cota clave del alcantarillado. En general, las tuberías de acueducto deben colocarse hacia uno de los costados de las vías, preferiblemente los costados norte y este, opuesto a aquel donde se coloquen las tuberías de alcantarillado sanitario.

En el caso que por falta física de espacio o por un obstáculo insalvable, sea imposible cumplir con las distancias mínimas anteriormente relacionadas, la tubería de acueducto deberá ser revestida exteriormente con una protección a todo lo largo de la zona de interferencia, que garantice su estanqueidad ante la posibilidad de contaminación por presiones negativas.

B.7.5.7.2 Alcantarillados de aguas lluvias

Las distancias mínimas entre las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable y las tuberías de un alcantarillado de aguas lluvias dependen del nivel de complejidad del sistema, tal como se especifica en la tabla B.7.9.

TABLA B.7.9
Distancias mínimas a red de alcantarillado de aguas lluvias

Nivel de complejidad del sistema	Distancias mínimas
Bajo	1.0 m horizontal; 0.3 m vertical
Medio	1.0 m horizontal; 0.3 m vertical
Medio alto	1.2 m horizontal; 0.5 m vertical
Alto	1.2 m horizontal; 0.5 m vertical

Las tuberías de acueducto no pueden estar ubicadas en la misma zanja de una tubería de alcantarillado pluvial, y su cota de batea debe estar por encima de la cota clave del alcantarillado. Las tuberías de alcantarillado sanitario irán preferiblemente sobre el eje de la vía.

B.7.5.7.3 Teléfonos y energía

Las distancias mínimas entre las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable y los ductos de redes de teléfonos y de energía eléctrica dependen del nivel de complejidad del sistema, tal como se especifica en la tabla B.7.10

TABLA B.7.10
Distancias mínimas a redes de teléfono y energía

Nivel de complejidad del Sistema	Distancias Mínimas
Bajo	1.0 m horizontal; 0.2 m vertical
Medio	1.0 m horizontal; 0.2 m vertical
Medio alto	1.2 m horizontal; 0.5 m vertical
Alto	1.2 m horizontal; 0.5 m vertical

B.7.5.7.4 Redes domiciliarias de gas

Las distancias mínimas entre las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable y las tuberías de las redes domiciliarias de gas dependen del nivel de confiabilidad del sistema tal como se especifica en la tabla B.7.11

TABLA B.7.11
Distancias mínimas a redes domiciliarias de gas

Nivel de complejidad del sistema	Distancias mínimas
Bajo	1.0 m horizontal; 0.3 m vertical
Medio	1.0 m horizontal; 0.3 m vertical
Medio alto	1.5 m horizontal; 0.5 m vertical
Alto	1.2 m horizontal; 0.5 m vertical

En todos los casos, la distancia vertical es aquella distancia medida entre la cota clave de la tubería de la red de gas y la cota de batea de la tubería de la red de distribución de agua potable.

B.7.5.8 Localización de las redes de distribución de agua potable para redes nuevas

En caso de que la empresa prestadora del servicio de agua potable en el municipio no tenga normas que especifiquen la localización de las redes de distribución de agua potable, éstas se deben localizar en los costados norte y oriente de las calles y carreras, excepto en aquellas vías que lleven red doble.

Si la distancia de los paramentos de una vía es mayor que 15 metros o la vía tiene doble calzada, deben proyectarse dos tuberías de distribución a lado y lado de la vía.

B.7.5.9 Colocación o nivelación de las redes de distribución

Para **todos los niveles de complejidad del sistema** el eje de las tuberías debe localizarse con tránsito y estacar cada 10 metros. Las tuberías deben referenciarse con respecto a los ejes y los paramentos de las vías, previamente verificados por la oficina de planeación del municipio.

Los levantamientos altimétricos y planimétricos deben referenciarse a los B.M. ó placas oficiales de las oficinas de planeación municipal. En aquellos municipios donde no existan B.M. o placas oficiales de la oficina de planeación municipal, los levantamientos altimétricos y planimétricos deben referenciarse a los B.M. y placas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Todas las tuberías de la red de distribución deben colocarse preferiblemente por las zonas verdes de las vías o andenes, siempre que se cumplan las disposiciones sobre la separación entre las tuberías de acueducto y las tuberías o ductos de otras redes de servicios públicos, tal como se estableció en el literal B.7.5.7, Distancias mínimas.

B.7.5.10 Profundidades de las tuberías

Las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable deben colocarse teniendo en cuenta los siguientes requisitos sobre profundidades:

B.7.5.10.1 Profundidad mínima

La profundidad mínima a la cual deben colocarse las tuberías de la red de distribución no debe ser menor que 1.0 m medidos desde la clave de la tubería hasta la superficie del terreno.

Para los casos críticos de construcción donde sea necesario colocar la clave de la tubería entre 0.60 m y 1.0m de profundidad debe hacerse un análisis estructural teniendo en cuenta las cargas exteriores debidas al peso de tierras, 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 por parte de la oficina de planeación del municipio o de la empresa prestadora del servicio de agua potable.

B.7.5.10.2 Profundidad máxima

La profundidad de las tuberías que conforman la red de distribución, en términos generales, no debe exceder de 1.50 m; los casos especiales deben consultarse con la oficina de planeación del municipio o con la Entidad prestadora del servicio de acueducto.

B.7.5.11 Análisis de interferencias

En las secciones de las vías que deben aparecer en los planos de la red deben indicarse la localización de las redes de acueducto, de alcantarillado y de otros servicios públicos.

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. Si en la zanja se encuentran aguas negras, éstas deben quitarse y se deben desinfectar por cualquier sistema la zona contaminada.

B.7.5.12 Instalación y protección de las tuberías

Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** deben analizarse todas las condiciones de instalación de la tubería, especificando su protección cuando sea necesario. En especial deben analizarse los siguientes aspectos correspondientes a la red primaria de distribución de agua potable:

- La instalación de la tubería en tramos con pendientes acentuadas, alrededor de 20 grados o mayores.
- La instalación de la tubería en pasos de cañadas sujetos a inundaciones o caudales que causen erosión en el recubrimiento de la tubería.
- La instalación de la tubería con cobertura de terreno menor que los especificados anteriormente para su protección, en caso de circulación de vehículos con cargas que puedan causar daño en la tubería.

- En la instalación de la tubería en áreas sujetas a inundaciones debe evitar la posibilidad de que la tubería flote, principalmente cuando no está llena de agua, recomendando anclaje para su protección, donde sea necesario.

La instalación de tuberías debe realizarse siguiendo lo establecido en el capítulo Aspectos Constructivos del Título G.

B.7.6 ACCESORIOS

Los accesorios son elementos complementarios para la instalación de las tuberías, e incluyen uniones, codos, reducciones, tees, válvulas, anclajes, etc.

Las tuberías y los accesorios deben ser compatibles entre sí, con respecto a presiones de trabajo, dimensiones (diámetros, espesores, sistemas de unión) y a estabilidad electroquímica si se trata de materiales diferentes.

En relación con las especificaciones técnicas de los accesorios que van a utilizarse en la red de distribución, éstos deben cumplir con los requerimientos de las Normas técnicas Colombianas vigentes, o de las normas técnicas internacionales de la AWWA, DIN ASTM, o de cualquier otra norma internacional equivalente, las cuales se encuentran en la tabla B.6.

Se preferirá, para la compra, a aquellos proveedores de accesorios para redes de distribución que posean certificado de conformidad de calidad otorgado por el organismo nacional de certificación (ICONTEC) o por otro ente acreditado por la Superintendencia de Industria y Comercio, así como las certificaciones de su utilización en trabajos exitosos y de importancia relacionados con acueductos.

B.7.6.1 Aspectos generales de las válvulas en redes de distribución

La red de distribución debe proveerse de válvulas de compuerta o mariposa ubicadas de modo que cumplan los siguientes requisitos:

1. En las tuberías principales deben disponerse de las válvulas necesarias que permitan aislar un sector o zona de servicio.
2. Si se aísla parte del sistema, debe mantenerse el servicio del agua en el resto de la población. Únicamente se hará excepción a esta regla para el **nivel bajo de complejidad**.
3. Para el **nivel bajo de complejidad** será suficiente prever una única válvula en la tubería que alimenta toda la red de distribución de agua potable.
4. El empalme de todo ramal de derivación importante con la red de distribución debe tener una válvula de derivación o corte.
5. Todas las conexiones de tuberías secundarias con las tuberías principales deben tener una válvula de derivación o corte.
6. Debe analizarse y sustentarse la disposición de las válvulas teniendo en cuenta la flexibilidad de operación del sistema y la economía en el diseño para reducirlas a un mínimo al aislar un sector o zona de servicio.
7. En caso de que la red de distribución de agua potable de un municipio se encuentre dividida en zonas de servicio atendidas por diferentes operadores, las diferentes zonas deberán estar conectadas entre sí y aisladas a través de una válvula de mariposa o de compuerta de cierre permanente. Se recomienda que el tapa válvula de este accesorio este pintado con un color llamativo con el fin de facilitar su identificación o que tenga definida su ubicación y su sistema de operación, de manera que se garantice la interconexión de las zonas.

Debe cumplirse con las normas técnicas AWWA C500-93 o AWWA C600.

B.7.6.2 Válvulas en redes matrices de distribución

Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** en los que existan redes matrices para la distribución de agua potable deben colocarse las siguientes válvulas:

B.7.6.2.1 Válvulas de corte

Deben instalarse válvulas de corte por lo menos cada 1500 m . En todos los puntos de empate, entre tuberías de diámetro diferente, la válvula debe colocarse sobre la tubería de menor diámetro.

Además, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. En tees y cruces de tubería, deben especificarse las válvulas de corte necesarias para facilitar el aislamiento de un tramo, sin afectar a los demás.
2. En todo cruce entre dos tuberías principales que no estén conectadas por pertenecer a sistemas de presión diferente o a sistemas de prestación del servicio diferentes debe diseñarse una interconexión de servicio obturada mediante una válvula de corte. El diámetro de esta interconexión debe ser, como mínimo, igual al del menor diámetro de las tuberías del cruce.
3. El diámetro de las válvulas de corte será siempre igual o inferior a la tubería en la cual se coloca, con una relación aproximada de diámetro hasta de 1.25, teniendo en cuenta la velocidad en la válvula y la pérdida de cabeza ocasionada no produzca cavitación, seleccionando el diámetro comercial más cercano al valor obtenido.

Las válvulas de corte utilizadas deben cumplir los mismos requerimientos de lo especificado en B.6.4.9.2

B.7.6.2.2 Válvulas de purga

En todos los puntos bajos deben colocarse válvulas de purga para el drenaje de la tubería. Cuando ésta se desocupe, el agua debe conducirse al sistema de alcantarillado pluvial, de existir éste, a canales recolectores de agua lluvia o a canales abiertos. Debe justificarse plenamente cuándo en un punto bajo no se requiere válvula de purga.

Los valores del tiempo de descarga deben ser fijados por el diseñador, de acuerdo con la empresa prestadora del servicio, y su valor máximo para tuberías de 1.22 m (48 pulgadas) y mayores será de 10 horas.

B.7.6.2.3 Ventosas

Las ventosas deben ser instaladas en todos los puntos donde haya la posibilidad de acumulación de aire en la tubería, es decir, donde no sea posible su remoción hidráulica.

Para que exista la remoción hidráulica del aire es necesario que la velocidad mínima operacional sea igual o superior a la velocidad crítica. En caso de no existir la remoción hidráulica será necesaria la instalación de ventosas para la remoción mecánica del aire. Las ventosas deben cumplir con las normas técnicas requeridas (Véase literal B.6.4.9)

B.7.6.3 Válvulas en redes secundarias

La red de distribución secundaria debe estar provista de válvulas, cumpliendo los siguientes requisitos :

En el caso de válvulas tipo compuerta:

1. Deben tener vástago no deslizante con cabezote operable mediante llave T.
2. Todas las válvulas deben cerrar en sentido dextrógiro.
3. Las válvulas deben colocarse en las intersecciones de las mallas principales, de tal manera que formen circuitos cuyo desarrollo no debe ser superior a los
 - 1.500 m en poblaciones menores y de baja densidad de habitantes (menor que 250 habitantes por hectárea).
 - 800 m en poblaciones con densidad mayor que 250 habitantes por hectárea.
4. Debe colocarse una válvula en los puntos en que exista un tramo de derivación importante.
5. En los puntos bajos de la red deben instalarse válvulas de purga o desagüe y diseñarse las obras necesarias para su adecuado drenaje.
6. No se permiten puntos muertos en la red, debiendo necesariamente terminar en válvulas con drenaje.

7. En los puntos altos de la red de distribución deben instalarse dispositivos de entrada o salida de aire (ventosas).
8. Todas las válvulas deben complementarse y protegerse con cajas de mampostería, hormigón o metal con tapa a nivel de la rasante. En los siguientes literales se especifican las formas como deben dimensionarse las cajas para válvulas.

En el caso de que se utilicen válvulas mariposa o de bola en la red de distribución secundaria, estas debe estar provistas de un mecanismo de control de cierre que permita que éste sea relativamente lento con el fin de evitar el golpe de ariete.

Las válvulas en las redes de distribución de agua potable se clasifican, de acuerdo con la función deseada, en válvulas de cierre, válvulas de cierre permanente, válvulas de admisión o expulsión de aire (ventosas), válvulas de regulación de presión, válvulas de regulación de caudal, válvulas reductoras de presión, válvulas de prevención de reflujo (válvulas de cheque), válvulas de drenaje o purga, válvulas de paso directo y válvulas de alivio.

En los siguientes literales se especifican los requerimientos para cada uno de los tipos de válvula.

B.7.6.3.1 Válvulas de cierre o corte

Cuando tres o más tramos de tuberías principales se interconecten en un punto, debe ser prevista una válvula de cierre en cada tramo.

En las tuberías secundarias debe ser prevista una válvula en las interconexiones con las tuberías principales.

Deben especificarse las válvulas necesarias para que al ejecutar un cierre no se aislen zonas mayores que 6 manzanas. Las tuberías de 150 mm (6 pulgadas) y mayores deben tener válvulas de corte cada 500 m como mínimo. En todos los puntos de empalme de una tubería de diámetro mayor con una de diámetro menor, debe instalarse una válvula sobre la tubería de diámetro menor

A nivel de diseño de un sistema de redes menores, debe analizarse la localización de las válvulas desde los puntos de vista de flexibilidad operacional y de los costos globales de la red de distribución.

B.7.6.3.2 Ventosas

En todos los puntos altos de la red de distribución donde no sea posible la remoción hidráulica o donde no sea posible utilizar las conexiones domiciliarias para la expulsión del aire, debe instalarse una válvula de doble acción (ventosa automática) con el fin de evitar que el aire separe la columna de agua en la red cuando esté en operación y permitir la entrada de aire cuando se desocupe, evitando presiones inferiores a las atmosféricas. Debe cumplirse con la norma técnica AWWA C512-92.

Deben tenerse 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 la empresa prestadora del servicio en el municipio.
2. El tamaño de las ventosas en las líneas que conforman la red secundaria de distribución debe ser superior a 25 mm (1 pulgada) e inferior a 50 mm (2 pulgadas).

B.7.6.3.3 Válvulas reguladoras de presión

En las uniones de la red secundaria con la red matriz, cuando la presión estática de la red supere el valor máximo especificado en el literal B.7.4.5.2, debe instalarse una válvula reguladora de presión. El diámetro de esta válvula debe determinarse de acuerdo con el caudal máximo horario (QMH) para la zona. Las válvulas reguladoras de presión deben cumplir con los siguientes requisitos :

1. Las válvulas reguladoras de presión deben producir una pérdida de cabeza predeterminada, con el fin de controlar la presión, manteniéndola constante, independientemente del caudal que pasa a través de ellas.

2. Todas las válvulas reguladoras de presión deben ir acompañadas de válvulas de cierre que permitan el rápido monte y desmonte con fines de mantenimiento y/o cambio.
3. Para el nivel de complejidad del servicio alto se recomienda el uso de válvulas reguladoras de presión instaladas en bifurcaciones de la línea, con el fin de permitir el funcionamiento de la instalación en caso de avería y/o mantenimiento de una de ellas, con las correspondiente válvulas de cierre, filtros, manómetros, etc.
4. Las válvulas reguladoras de presión deben estar localizadas en cámaras que permitan un acceso adecuado para las labores de montaje, operación y mantenimiento.
5. Estas válvulas deben ser completas, con todos los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento, y deben estar provistas de un indicador del grado de apertura.
6. Las válvulas reguladoras de presión deben soportar presión por ambos lados (aguas abajo y aguas arriba) simultáneamente o sólo por uno de ellos. Exteriormente, el cuerpo de la válvula debe tenerse grabada una flecha que indique la dirección del flujo.
7. En todos los casos, las válvulas reguladoras de presión deben cerrarse automáticamente al ocurrir un daño en los diafragmas.

B.7.6.3.4 Válvulas de regulación de caudal

Usualmente estas válvulas se instalan aguas abajo de las válvulas reguladoras de presión y tienen por objetivo dejar pasar un caudal determinado para una presión determinada, el cual es función de la apertura de la compuerta. Se utilizan válvulas de mariposa excéntricas para las cuales la posición de la lenteja se encuentra calibrada.

No se deben utilizar válvulas de compuerta como válvulas reguladoras de caudal.

B.7.6.3.5 Válvula reductora de presión

Las válvulas reductoras de presión reducen automáticamente la presión aguas abajo de las mismas, hasta un valor predeterminado, admisible para las instalaciones localizadas en la red de distribución aguas abajo.

B.7.6.3.6 Válvulas de cheque

En las tuberías de la red secundaria que estén aguas abajo de una bomba (líneas de impulsión de la bomba), deben colocarse válvulas de cheque o de retención con el fin de evitar el retroceso de agua, con el consiguiente vaciado de la tubería y los posibles daños en las bombas o posibles aplastamientos de la tubería. Deben cumplirse las normas técnicas correspondientes (véase B.6.4.9.5).

B.7.6.3.7 Válvulas de drenaje o purga

En todos los puntos bajos de la red de distribución deben colocarse válvulas de drenaje o válvulas de purga. El agua de salida cuando la tubería se desocupe, debe conducirse al sistema de alcantarillado. Salvo motivo debidamente justificado y aprobado por la empresa prestadora del servicio, deben ser previstas válvulas en todos los puntos bajos de la red.

Para el diseño de las válvulas de drenaje se deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. La descarga debe permitir la eliminación de toda el agua contenida en la tubería.
2. El diámetro de la tubería de desagüe debe estar entre 1/3 y 1/4 del diámetro de la tubería principal, con un mínimo de 75 mm (3 pulgadas) para tuberías mayores que 100 mm (4 pulgadas). Para diámetros menores debe adoptarse el mismo diámetro de la tubería principal.
3. Cada válvula de purga debe estar protegida con una cámara de cheque o de retención 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 la tubería.

B.7.6.3.8 Válvula de sectorización

Corresponden a válvulas de compuerta o de mariposa, instaladas en la red de distribución de agua potable con el fin de sectorizar la red.

B.7.6.3.9 Válvulas de alivio

Son válvulas que protegen la tubería contra excesos de presión ya sean causados por 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 de presión piezométrica. La descarga de la válvula de alivio se debe dirigir directamente a un colector de alcantarillado o a un canal de drenaje con la capacidad adecuada.

B.7.6.4 Número de válvulas para aislar un sector de la red menor de distribución

Las válvulas de 100 mm (4 pulgadas) o mayores para la operación y control de la red de distribución de agua potable deben distribuirse de tal forma que para aislar un sector de una red menor de distribución no haya necesidad de cerrar más de 4 válvulas. En ningún caso, el sector aislado debe superar un área de 6 manzanas.

B.7.6.5 Materiales para las válvulas

Los materiales en que deben construirse las válvulas, tanto en su cuerpo como en sus mecanismos de cierre, deben cumplir todas las Normas Técnicas Colombianas, o las normas técnicas internacionales de la AWWA, DIN, ASTM o cualquier otra norma internacional equivalente.

Las características de los materiales deben ser función de las características del agua, así como de las presiones de servicios más los factores de seguridad establecidos en los literales anteriores.

B.7.6.6 Especificaciones para las cámaras de las válvulas

Las válvulas deben estar colocadas dentro de cajas que deben construirse tan pronto el tramo correspondiente sea colocado y aceptado por la empresa prestadora del servicio en el municipio. Las cajas deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Las cajas de las válvulas deben ser de mampostería de ladrillo, de concreto reforzado, de metal u otro material aprobado por la empresa prestadora del servicio y deben ser rectangulares, cuadradas o circulares.
2. El fondo de la caja debe ser de concreto con un espesor mínimo de 0.1 m.
3. Las cajas deben tener un sistema de drenaje dirigido al sistema de alcantarillado.
4. La distancia entre el piso de la caja y la parte inferior de la válvula no debe ser menor que 0.2 m. Esta condición no debe tenerse en cuenta para el caso de ventosas.
5. Las tapas deben ser de concreto reforzado y su espesor debe calcularse teniendo en cuenta las cargas que vayan a actuar sobre ellas, y no debe ser menor que 70 mm.
6. Para facilitar la operación de las válvulas desde el exterior, éstas deben estar provistas de un alargador o extensión del vástago que evite el ingreso del valvulero al interior de la cámara. En este caso, la operación se hace retirando la tapa circular para conectar la llave T al cabezote en el extremo del alargador el cual debe estar a una altura conveniente dentro de la cámara.

B.7.6.7 Estructuras complementarias

Las redes de distribución de agua potable podrán contemplar estructuras complementarias que garanticen una correcta prestación del servicio, en cuanto a caudales y a presiones se refiere.

B.7.6.7.1 Estaciones reductoras de presión.

En sitios donde se requieran, deben colocarse estaciones reductoras de presión, cumpliendo los siguientes requisitos:

1. Deben colocarse con el fin de reducir la cabeza de presión hasta un valor menor y establecer un nuevo nivel estático, deben emplearse estaciones reductoras de presión.

2. El empleo de estas estaciones es necesario cuando la calidad de las tuberías, las válvulas y los accesorios de la red no permitan soportar altas presiones, así como para mantener las presiones máximas de servicio en una red de distribución dentro de los límites admisibles de presión.
3. En los **niveles bajo y medio de complejidad**, las estaciones reductoras de presión pueden basarse en el uso de válvulas reductoras de presión, o en el uso de cámaras de quiebre de presión que alcancen a igualar la presión a la presión atmosférica correspondiente.
4. En el caso de utilizar cámaras de quiebre, debe obtenerse autorización de la empresa de servicios públicos. Además, debe calcularse el tamaño del tanque, del tal forma que no se produzcan vertimientos excesivos y debe protegerse de tal forma que no se produzca contaminación por el contacto del agua con la atmósfera.

B.7.6.7.2 Estructuras especiales

Cuando las tuberías de la red de distribución crucen carreteras, vías férreas, ríos o arroyos, calles o carreras u otros obstáculos naturales o artificiales, y no sea factible la solución de tubería enterrada con su debida protección, deben proyectarse estructuras especiales que garanticen la seguridad de la tubería, estando especialmente concebidas para absorber las cargas y otros esfuerzos resultantes de la colocación de la tubería. Las estructuras especiales deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Deben estar construidas en metal, madera, ladrillos, concreto (simple, ciclópeo o reforzado) o cualquier otro tipo de material aprobado por la empresa prestadora del servicio, y conformar ya sea puentes, pasos colgantes y otros.
2. Toda estructura especial debe contar con el respectivo cálculo estructural y análisis de costos, siguiendo la metodología establecida en el Título A sobre costo mínimo.
3. En los sitios donde se coloquen estructuras especiales no es recomendable tener cambios de dirección, de contracciones y de dispositivos para el cierre de las tuberías.
4. Los siguientes esfuerzos, combinados o separados, deben ser considerados para el dimensionamiento de las estructuras de los conductos y de las obras para su sustentación:
 - Presiones internas.
 - Cargas externas.
 - Peso propio de la tubería y peso del agua transportada.
 - Esfuerzos producidos por cambios de dirección, de contracciones y de dispositivos para el cierre de las tuberías, en caso de que estos existan.
 - Esfuerzos resultantes de las variaciones de temperatura.
5. Las cargas externas que puedan actuar sobre conductos enterrados deben determinarse según normas propias o, a falta de estas, utilizando las especificaciones de los fabricantes de la tubería.
6. Los esfuerzos que deben ser considerados en las instalaciones de tuberías externas sobre apoyos discontinuos deben ser los resultantes del peso propio del conducto, del peso del agua contenido en el conducto, de las cargas externas presentes y, donde sea necesario, de las variaciones de la temperatura.

B.7.6.8 Uniones y juntas

B.7.6.8.1 Uniones de montaje

Deben preverse juntas de montaje en todos los sitios donde haya necesidad de mantenimiento o reemplazo de algún equipo, tal como es el caso de las válvulas necesarias para la operación de la red de distribución.

Debe tenerse en cuenta lo establecido en el literal B.6.4.9.11, Uniones de Montaje de este título. Debe cumplirse con las normas técnicas NTC 2346, AWWA C111/A21.10-93, en el caso de utilizar accesorios en hierro.

B.7.6.8.2 Juntas de expansión

En caso de que existan pasos aéreos en la red de distribución, con el fin de salvar obstáculos naturales tales como ríos, quebradas, depresiones, con el fin de absorber las dilataciones o contracciones debidas a variaciones térmicas en las tuberías, deben preverse juntas de expansión, se deben prever juntas mecánicas de transición en los sitios de empalme de tubería de diferentes diámetros externos. No se podrán utilizar empalmes con tegul o plomo.

Debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.4.9.12, Juntas de Expansión, de este título.

B.7.6.9 Hidrantes

B.7.6.9.1 Aspectos generales

Los hidrantes deben instalarse en tuberías con un diámetro mínimo de 75 mm (3 pulgadas) y a una distancia máxima entre ellos de 300 m. Cada hidrante llevará su propia válvula para aislarlo de la red. Se ubicarán de preferencia en las esquinas, en las intersecciones de dos calles y sobre la acera, para un mejor acceso.

Debe consultarse con el cuerpo de bomberos local con el fin de definir y estandarizar el tipo y diámetro de las conexiones para mangueras que va a utilizar. Dependiendo del tipo de hidrante, ya sea de núcleo húmedo o seco, deben cumplirse las normas técnicas colombiana correspondientes o, en su ausencia, con las normas AWWA C502-94 ó AWWA C550-90.

B.7.6.9.2 Capacidad de los hidrantes

En áreas comerciales, industriales o residenciales con una densidad superior a 200 habitantes por hectárea, los hidrantes deben tener una capacidad mínima de 20 L/s. Para el área restante del municipio la capacidad mínima debe ser de 5 L/s.

B.7.6.9.3 Número de hidrantes y distancia entre hidrantes

Para los niveles **bajo y medio de complejidad** o para los barrios de estrato 1 y 2 en los niveles **medio alto y alto de complejidad** el número de hidrantes depende de la protección exigida por los edificios públicos, las escuelas, los colegios, etc. En caso de no existir este tipo de edificios, la empresa prestadora del servicio en el municipio debe definir la cantidad y la ubicación de los hidrantes.

Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, en los barrios de estratos 3, 4, 5 y 6 debe colocarse un hidrante por lo menos cada 200 m. En las zonas con bloques multifamiliares debe colocarse un hidrante por lo menos cada 150 m.

En las zonas industriales y comerciales de alto valor debe ponerse un hidrante en cada bocacalle y a una distancia no mayor que 100 m.

B.7.6.9.4 Localización de los hidrantes

La localización de hidrantes debe cumplir los siguientes requisitos :

1. Los hidrantes deben instalarse en el límite de dos predios, aproximadamente a 10 m de la intersección de los paramentos y en una zona verde o en el andén.
2. Cuando se coloquen en el andén no deben instalarse a una distancia mayor que 0.5 m del borde exterior hacia adentro.
3. Cuando se instalen sobre la zona verde, no deben ponerse a una distancia menor que 0.5 m del borde exterior del cordón.
4. Los hidrantes deben instalarse alejados de obstáculos que impidan su correcto uso.
5. No deben localizarse en las calzadas de las vías ni contiguos a postes u otros obstáculos que no permitan su correcto uso en caso de incendio.
6. Las bocas de los hidrantes deben quedar hacia la calle.

7. En la colocación del hidrante deben colocarse tantas extensiones sean necesarias para que el hidrante quede saliente en su totalidad por encima del nivel del terreno.
8. Antes de colocar el hidrante debe comprobarse si su funcionamiento es correcto.

B.7.6.9.5 Color del hidrante

La parte superior del hidrante debe pintarse de acuerdo con su caudal y siguiendo normas internacionales, tal como se establece a continuación.

Rojo:	Caudales hasta 32 L/s
Amarillo:	Caudales entre 32 y 63 L/s
Verde:	Caudales superiores a 63 L/s.

B.7.6.9.6 Presión en los hidrantes

Para los niveles **bajo y medio de complejidad**, la presión mínima en los hidrantes debe ser la correspondiente a 29.43 kPa (3 mca). En estos casos, la presión requerida para combatir el incendio podrá ser suministrada por el equipo de bombeo propio de los carros del cuerpo de bomberos.

Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, para zonas residenciales la presión mínima en los hidrantes debe ser de 98.1 kPa (10 mca) y para las zonas comerciales e industriales o zonas residenciales con edificios multifamiliares, la presión mínima debe ser de 196 kPa (20 mca).

La presión mínima de trabajo de los hidrantes debe ser de 980 kPa (100 mca) y deben soportar una presión de prueba de 1960 kPa (200 m de columna de agua)

B.7.6.9.7 Instalación y anclaje de los hidrantes

En la base del hidrante debe construirse un anclaje especial, de acuerdo con el tipo de suelo.

El hidrante debe asegurarse en el pie con un anclaje de concreto reforzado, el cual debe diseñarse de acuerdo con los principios establecidos en el Título G de esta normatividad.

B.7.6.10 Anclajes

Los anclajes son necesarios para garantizar la estabilidad de las tuberías en los sitios en donde ocurran cambios de dirección, disminución de diámetros, aumento de diámetros, división de caudales, etc. en un sitio en el cual la tubería no cuente con mecanismos para soportar esfuerzos.

Los codos, las tees, las cruces, los tapones, las válvulas, los hidrantes, etc., deben anclarse utilizando macizos de concreto o uniones rígidas capaces de soportar los esfuerzos producidos.

Para los anclajes deben tenerse en cuenta los siguientes requerimientos:

1. El macizo de anclaje de los accesorios debe sobresalir un mínimo de 0.1 m sobre la clave del accesorio.
2. En los anclajes, las juntas de los accesorios con la tubería deben permanecer libres para casos de reparación.
3. Los anclajes deben fundirse sobre terreno firme y no removido.
4. 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.

Este es un tema que en la práctica, da lugar a un análisis detallado, que depende del diámetro de la tubería, la presión de trabajo, el ángulo de deflexión si se trata de un codo, el efecto del golpe de ariete y la calidad misma del terreno. Estos factores es necesario tenerlos en cuenta para el diseño de los anclajes especialmente en lo que se refiere al área de apoyo.

B.7.6.11 Apoyos

En caso de que algunas de las tuberías que conforman la red de distribución queden por fuera del terreno, deben colocarse los apoyos necesarios para garantizar la estabilidad de la tubería y que la deflexión en esta no supere lo establecido por las Normas Técnicas Colombianas, o las normas técnicas internacionales de la AWWA, ASTM, DIN u otra norma técnica equivalente. Cada uno de los fabricantes de tuberías debe

especificar la longitud mínima para la colocación de los apoyos. Estas especificaciones deben ser aprobadas por la empresa prestadora del servicio. En ningún caso, los apoyos deben localizarse a una distancia menor que 0.5 m desde la unión de la tubería con otras tuberías o con alguno de los accesorios que conforman la red de distribución.

En ningún caso se permite que tuberías plásticas que puedan ser afectadas por la acción de la luz ultravioleta sean colocadas por fuera del terreno.

B.7.6.12 Acometidas

La acometida es la tubería que va desde la red menor de distribución hasta el medidor. Existen dos tipos de acometidas, Acometidas individuales y acometidas conjuntas.

En ningún caso se permite derivar acometidas desde la red matriz o desde la red secundaria.

B.7.6.12.1 Acometidas individuales

Toda acometida debe constar de los siguientes accesorios dependiendo del tipo de tubería con el que se haga la instalación:

- Unión de empalme entre la acometida y la tubería de distribución, pudiendo ser ésta una silla, galápago, collar de derivación o registro de incorporación.
- Registro de Incorporación.
- Tubería en el diámetro recomendado.
- Codos y niples.
- Registro de rueda.
- Registro de corte.
- Medidor domiciliario de consumo de agua.
- Caja de andén o caja de pared para proteger el medidor y el registro de corte. Desde esta caja hacia adentro se inicia la instalación interna.
- Válvula de cheque en caso de posibilidad de contra flujo.

Para las acometida individuales deben tenerse en cuenta adicionalmente los siguientes requerimientos:

1. Las acometidas domiciliarias deben construirse conjuntamente con la red de distribución principal 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 sardinel. De ello debe dejarse constancia en el acta de recibo de la red, en los planos del proyecto y en la libreta de referenciación de la red.
3. Las acometidas en tuberías plásticas, o de cobre de menos de 25 mm (1 pulgada) deben instalarse mediante el uso de galápagos y no directamente en la tubería principal de distribución, salvo en el caso de tuberías que permitan termofusión.
4. Para diámetros nominales entre 13 mm (0.5 pulgadas) y 25 mm (1 pulgada), las tuberías deben ser flexibles y el material debe ser cobre tipo K o polietileno (PE) de alta o baja densidad para la relación RDE requerida por la presión de servicio y de acuerdo a las NTC 3664, 3694 y 4585.

Para diámetros nominales entre 25 mm (1 pulgada) y 75 mm (3 pulgadas), el material debe ser cobre tipo K o L, o polietileno (PE) de alta o baja densidad para la relación RDE requerida por la presión de servicio y de acuerdo a las NTC 3664, 3694 y 4585.

Para diámetros nominales mayores a 50 mm (2 pulgadas), previa autorización de la empresa prestadora del servicio, podrá utilizarse tubería de PVC siempre que cumpla la relación RDE requerida por la presión del servicio, de acuerdo con la NTC 382 y se tenga en cuenta la profundidad mínima de instalación así como las condiciones de flexibilidad y adaptación a las tuberías matrices requeridas por este tipo de conexión.

De requerirse acometidas en diámetros mayores, para edificaciones o instalaciones de gran tamaño, la conexión domiciliaria se diseñará con sujeción a las normas de tuberías de distribución contempladas en

este reglamento y bajo las calidades, tipos de material y condiciones particulares de presión del respectivo proyecto.

5. La tubería para la acometida debe tener como mínimo un diámetro de 13 mm (0.5 pulgadas). Para instalaciones especiales, el suscriptor podrá proponer el diámetro a la empresa prestadora del servicio en el municipio y ésta podrá aceptarlo, siempre y cuando no se ocasionen perjuicios actuales o futuros a otros suscriptores.
6. En todo caso deben tenerse en cuenta las normas técnicas correspondientes.

Para los niveles **bajo y medio de complejidad** y para los barrios de estratos 1, 2, y 3 de los niveles **medio alto y alto de complejidad** podrán hacerse acometidas conjuntas.

Para el caso de viviendas unifamiliares 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 debe cumplir con los demás requisitos de las normas. Debe tener un diámetro de 19 mm (0.75 pulgadas), en tanto que los medidores y la tubería de cada vivienda deben ser de 13 mm (0.5 pulgadas).

Se obliga a los urbanizadores a adicionar una nueva 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 ambos inmuebles. Por tal motivo, cualquier costo de reparación en dicha acometida será pagado por partes iguales entre los propietarios que utilicen la acometida".

B.7.6.13 Medidores domiciliarios

Sin perjuicio de lo establecido en el artículo 6 de la Ley 373 de 1997 y la Ley 142 de 1994, para todos los **niveles de complejidad del sistema** es obligatorio colocar medidores domiciliarios para cada uno de los suscriptores individuales del servicio del acueducto. Las excepciones a esta regla serán las establecidas en dichas leyes.

Los medidores mecánicos con diámetros entre 12.7 mm (0.5 pulgadas) y 38.1 mm (1.5 pulgadas) ya sean de Tipo volumétrico o de Tipo inferencial (velocidad), independientemente de su clase o clasificación metrológica, deben cumplir con la norma técnica Colombiana NTC 1063-1 o su equivalente la ISO 4064. Sin embargo, las empresas de acueducto podrán optar por otras normas que se ajusten a sus necesidades particulares.

Si las Empresas prestadoras del servicio van a utilizar otro tipo de medidores, especialmente para diámetros mayores de 50 mm (2 pulgadas) como los magnéticos, ultrasónicos, de hélice Woltman o similares, estos deberán ser fabricados e instalados según normas nacionales o internacionales que igualen o superen las características técnicas y metrológicas de las anteriores normas.

Independientemente del Tipo de medidor, lo que determina la selección de estos aparatos, es la Clasificación metrológica sobre la calidad del medidor establecida en la NTC 1063-1 y que debe aplicarse según el tipo de usuario. De acuerdo a la Resolución 138 de 2.000 de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, la Clase del medidor está determinada por los valores correspondientes al caudal mínimo y al caudal de transición y se denominan por las cuatro primeras letras mayúsculas del abecedario: A, B, C o D, organizadas de menor a mayor calidad, siendo los medidores clase A los de menor precisión para registrar caudales mínimos y los de clase D, los de mayor precisión.

TABLA B.7.12
Normas técnicas referentes a micromedidores

Medidor	Norma NTC	Norma Técnica ISO	Otras normas técnicas
Tipo Turbina	NTC 1063-1	ISO 4064	AWWA C701-88
Tipo Compuesto			AWWA C702-92
Tipo Desplazamiento (Bronce)			AWWA C700-95
Tipo Multichorro			AWWA C708-96
Tipo Desplazamiento (Plástico)			AWWA C710-95
Tipo Hélice			AWWA C704-92

En el caso de edificios o conjuntos multifamiliares que superen las doce (12) unidades habitacionales, se recomienda la instalación de un medidor totalizador inmediatamente aguas abajo de la acometida. Lo anterior con el fin de que queden registrados los consumos no autorizados, los cuales deberán de evitarse o acreditarse al medidor de áreas comunes, si existe, o en una cuenta aparte que se genere para el medidor totalizador. También deben existir medidores individuales en cada uno de los apartamentos o interiores que conformen el edificio o conjunto multifamiliar.

En el caso de grandes consumidores no residenciales, es decir, aquellos cuyo consumo durante más de 6 meses continuos sea mayor de mil (1.000) metros cúbicos y menor de diez mil (10.000) metros cúbicos mensuales, deben instalar un medidor con un rango de error admisible no mayor al cinco por ciento (5%) entre el caudal mínimo y el caudal de transición, y del dos por ciento (2%) entre el caudal de transición y el caudal de sobrecarga.

Aquellos grandes consumidores no residenciales con consumos mensuales mayores de diez mil (10.000) metros cúbicos, deben instalar un medidor con un error admisible no mayor al uno por ciento (1%) del caudal en todo el rango de consumo.

Los usuarios de consumos superiores a diez mil (10.000) metros cúbicos mensuales, cuando así lo convengan con las Entidades Prestadoras de Servicios podrán instalar dos medidores. El primero o principal debe ser de tipo mecánico, preferiblemente de hélice Woltman y el segundo de tipo electrónico, preferiblemente de ultrasonido, el cual servirá de sensor para pruebas de verificación periódicas del consumo medido por el principal. En caso de necesidad y especialmente cuando se presente consumos altos y bajos, el medidor principal debe ser compuesto. Los dos medidores podrán reemplazarse por un solo medidor con telemetría que cuente con un sistema de almacenamiento electrónico de datos para guardar datos históricos de consumo.

En el caso de los medidores domiciliarios, debe tenerse en cuenta los cambios tecnológicos en éstos. Sin embargo, todo medidor antes de ser instalado debe ser calibrado en el taller de medidores de la empresa de servicios públicos o en laboratorios certificados, y posteriormente se deben efectuar revisiones y calibraciones periódicas, con la frecuencia y oportunidad necesarias. En el caso de los niveles **medio alto y alto de complejidad** la empresa prestadora del servicio debe tener un taller de medidores. En el caso de los niveles **bajo y medio de complejidad**, los medidores a utilizar en el municipio pueden ser probados en los talleres de medidores de municipios que cuenten con ese tipo de instalaciones o en laboratorios certificados.

En todos los casos, los datos obtenidos en el taller de medidores deben ser guardados para ser enviados, en caso de ser requeridos, a la SSPD.

Las excepciones para este literal serán establecidas por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico en especial la dictada en la Resolución 14 del 17 de Julio de 1.997 y/o sus modificaciones.

B.7.6.14 Macromedidores

Debido a que los volúmenes entregados al sistema de distribución de agua potable son un parámetro importante que debe ser considerado en la realización del balance de distribución, en las labores de

operación y mantenimiento y en la planeación futura, debe preverse la instalación de macromedidores para la correspondiente obtención de datos de consumo fidedignos.

Los macromedidores pueden ser de Tipo mecánico (hélice o turbina), de presión diferencial (Venturi, tubo Pitot, o placa de orificio), o ultrasónico, o electromagnético. Deben cumplir con alguna de las normas técnicas mencionadas en la tabla B.7.12. Para los **niveles de complejidad del sistema medio alto y alto** los macromedidores deben estar provistos de sistemas de telemetría.

Para la instalación de macromedidores deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Los puntos de medición del caudal entregado deben estar situados a la salida de las plantas de tratamiento de agua y aguas arriba de cualquier salida de agua a los usuarios.
2. Los macromedidores deben estar situados preferiblemente en la entrega a tanques de compensación que formen parte del sistema de distribución de agua potable, teniendo en cuenta la necesidad de contabilizar el rebosamiento en los mismos, y también para utilizarlos en las operaciones de rutina del sistema de abastecimiento de agua.
3. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** en los que la red de distribución sea operada por empresas diferentes, al inicio de la red concedida a cada uno de las empresas prestadoras del servicio debe existir un macromedidor con el fin de contabilizar el agua que está siendo entregada a cada uno de ellos.
4. En el caso de redes de distribución correspondientes a zonas de abastecimiento bien diferenciadas y que pueden ser susceptibles de aislamiento por medio de una o dos tuberías de alimentación, deben tenerse macromedidores en dichas tuberías.

B.7.6.15 Bocas de acceso

Para las redes de distribución de los niveles **medio alto y alto de complejidad** que conformen el sistema principal de distribución deben tenerse bocas de acceso a la tubería. Estas deben instalarse con tuberías de diámetro igual o superior a 900 mm (36 pulgadas). El diámetro mínimo de las bocas de acceso será de 0.6 m.

Las bocas de acceso deben estar localizadas preferiblemente junto a válvulas de maniobra, válvulas de purga o cruces de interferencia en las cuales no es aconsejable instalar purgas.

El espaciamiento máximo de las bocas de acceso debe ser de:

- 500 m para tuberías de concreto, independientemente del diámetro de la tubería.
- 500 m para tuberías de acero con diámetro igual o mayor a 1.5 m (60 pulgadas).
- 1000 m para tuberías de acero entre 900 mm (36 pulgadas) y 1.5 m (60 pulgadas).

B.7.6.16 Accesorios para medición

Las tuberías deben poseer salidas para poder tomar algunos parámetros, tales como velocidad, presión y muestras de agua, cumpliendo con los siguientes requisitos :

1. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** en los que existan redes primarias deben ubicarse salidas de pitometría al comienzo y al final y en intervalos de 4000 metros en promedio en las líneas y analizando las derivaciones en ruta. La salida de pitometría debe ser de 50 mm (2 pulgadas) de diámetro interno y debe ponerse con válvula de compuerta y tapón roscado.
2. Para todos los **niveles de complejidad**, en las redes secundarias y redes menores de distribución de agua potable deben colocarse salidas pitométricas de 25 mm (1 pulgada) de diámetro ubicadas en forma perpendicular a las claves de la tubería. Deben ubicarse cada 500 m y 10 diámetros antes y después de un accesorio; en este último caso se entiende que el diámetro corresponde al diámetro de la tubería donde se instale la salida.
3. Las salidas de pitometría deben quedar perfectamente referenciadas en los planos de la red de distribución.

4. Las mediciones también pueden realizarse por otros medios como caudalímetros portátiles, los cuales pueden ser utilizados sin realizar perforaciones en la tubería ofreciendo, en algunos casos, precisiones superiores a las técnicas pitométricas.

B.7.7 REFERENCIACIÓN DE COMPONENTES

B.7.7.1 Catastro de la red

Debe contarse con un catastro de la red actualizado que incluya un inventario de las tuberías existentes, su localización y las especificaciones anotadas en cada componente, según lo dispuesto en los siguientes literales.

Este catastro debe incluir además las válvulas e hidrantes que formen parte de la red de distribución con todas sus especificaciones.

B.7.7.2 Convenciones que deben utilizarse

Las tuberías, válvulas e hidrantes referenciados deben numerarse y encerrarse en figuras convencionales, al anotarse en las tarjetas especiales de referenciación, de la siguiente forma: los tramos de las tuberías deben ir encerrados en triángulos; la válvulas deben ir encerradas en círculos y numeradas; los hidrantes deberán ir encerrados en cuadrados y numerados.

B.7.7.3 Referenciación de redes de acueducto

Las redes de acueducto deben referenciarse con respecto a los BM de la empresa prestadora del servicio, en caso de que éstos existan, o con respecto a los BM del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

La referenciación de tuberías y accesorios debe hacerse con respecto a los puntos fijos más cercanos y preferiblemente a los paramentos definitivos, entendiéndose por éstos el borde interior del andén.

En ningún caso debe referenciarse la red de acueducto a postes de energía o de teléfonos, a cámaras de inspección de alcantarillado ni a los accesorios del acueducto. Cualquier dificultad que se presente con respecto a la referenciación de las redes de acueducto debe consultarse con la oficina de planeación municipal o con el departamento de diseño, en caso de que exista, de la empresa prestadora del servicio en el municipio.

B.7.7.4 Referenciación de tuberías

B.7.7.4.1 Tuberías y paramentos rectos

Para referenciar tuberías respecto a paramentos rectos deben tomarse tres referencias, de la siguiente forma: una en cada una de las dos esquinas de la cuadra y una en el centro.

Las referenciaci3nes de las dos esquinas deben hacerse a partir de la intersecci3n de paramentos. Cada una de ellas debe hacerse a ambos paramentos de la vía considerada. También debe medirse la longitud de la cuadra por el paramento que se encuentre mejor definido.

B.7.7.4.2 La tubería o los paramentos o ambos compuestos por tramos rectos

En este caso deben referenciarse todos los quiebres de la tubería con respecto a ambos paramentos mediante líneas normales a éstos, anotando la distancia de cada punto de referenciación a una misma esquina.

B.7.7.4.3 Paramentos curvos y tubería recta o curva

Si el trazado de la tubería es curva, desde los puntos fijos de esquinas, a lo largo de los paramentos deben medirse distancias de 10 m y si la tubería es recta deben medirse distancias de 20 m hasta llegar a puntos fijos de las esquinas próximas. Se unen los puntos correspondientes de un costado al otro y sobre éstas líneas se referencia la tubería.

B.7.7.5 Datos que deben anotarse en la referenciación de tuberías

Para la referenciación de las tuberías de la red de distribución de agua potable deben anotarse los siguientes datos:

- ◆ Diámetro.
- ◆ Clase y presión de la tubería
- ◆ Material.
- ◆ Profundidad.
- ◆ Fecha de instalación.
- ◆ Título de unión (campana y espigo, dresser, etc.)
- ◆ Marca de la Tubería
- ◆ Revestimiento de la tubería.
- ◆ Estado.

B.7.7.6 Referenciación de válvulas

Las válvulas siempre deben referenciarse a dos hilos de paramento de la esquina más cercana.

En ningún caso, la referenciación debe hacerse a puntos de la tubería, ya sean ellos codos, hidrantes, válvulas, etc.

B.7.7.7 Datos que deben anotarse en las válvulas

La información que debe incluir la referenciación de las válvulas es la siguiente:

- Marca.
- Tipo de compuerta, mariposa, de globo, etc.
- Diámetro.
- Posición (horizontal o vertical).
- Material.
- Fecha de instalación.
- Profundidades de la base.
- Número de vueltas para cerrar la válvula.
- Dirección de cierre de la válvula.
- Modo de operación.
- Uniones con la tubería.
- Presión de trabajo.

B.7.7.8 Referenciación de hidrantes

Siempre deben referenciarse los hidrantes con respecto a la esquina más próxima, anotando la distancia a ésta y al paramento.

Igualmente se debe referenciar la tubería alimentadora del hidrante, el ramal y la válvula auxiliar, siguiendo las normas para cada una de ellas establecidas en el literal anterior.

B.7.7.9 Información sobre hidrantes

En toda referenciación de hidrantes deben anotarse por lo menos, los siguientes datos:

- Marca.
- Número de bocas.
- Diámetro de la boca o bocas de salida.
- Diámetro de la tubería alimentadora.
- Tipo de hidrante.
- Fecha de instalación.
- Clase del hidrante.

- Caudal de descarga.
- Presión de trabajo.

B.7.7.10 Referenciación de los accesorios de las tuberías

En el caso de la referenciación de tapones y codos debe anotarse la distancia de estos a la esquina más próxima, la distancia al paramento y la longitud total de la cuadra. Se recomienda, además, anotar el número del inmueble citado al frente del tapón o codo.

En el caso de tees y cruces éstas deben referenciarse con respecto a las intersecciones de los paramentos.

B.7.7.11 Datos que deben anotarse en el caso de accesorios

Durante la referenciación de los accesorios que forman parte de la red de distribución de agua potable deben anotar los siguientes datos:

- Tipo de accesorio.
- Diámetro.
- Material.
- Presión de trabajo.
- Tipo de unión.
- Fecha de instalación.

B.7.7.12 Sistemas de Información Geográfica

En los **niveles de complejidad medio alto y alto**, es recomendable la utilización de un Sistema de Información Geográfica para almacenar en medio magnético planos y bases de datos de las tuberías de la red de distribución, con su localización, datos y características.

B.7.8 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA

B.7.8.1 Presiones

B.7.8.1.1 Prueba hidrostática de presión

Una vez finalizada la construcción de la red, ya sea en su totalidad en ciudades pequeñas o por tramos en ciudades pequeñas o grandes, la empresa prestadora del servicio en el municipio debe probar todas las tuberías puestas con una presión igual a 1.5 veces la presión máxima a la que las tuberías vayan a estar sometidas de acuerdo con el diseño.

La presión debe aplicarse con una bomba de émbolo provista de manómetro, instalada en la parte baja de la tubería que vaya a probarse. Si resultan daños durante la prueba de presión hidráulica, la reparación de tuberías y accesorios deberá ser realizada por el constructor o el diseñador, teniendo en cuenta la causa de la falla. Dicha presión debe medirse en el punto más bajo del tramo.

En la prueba de presión hidráulica debe tenerse en cuenta las normas técnicas correspondiente a cada material y accesorio (Véase tablas B.6.16 y B.6.19).

Además, debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La prueba de presión hidráulica debe hacerse bajo la vigilancia y aprobación de la empresa prestadora del servicio.
2. La prueba debe realizarse en tramos comprendidos entre válvulas siempre y cuando esta distancia no sea mayor que 500 m. Cuando la distancia entre válvulas sea mayor que 500 m, la empresa prestadora del servicio puede exigir que los tramos se subdividan mediante la instalación de tapones exteriores o cualquier otro sistema adecuado.

3. La tubería debe llenarse lentamente y a baja presión para permitir la salida de aire, el cual debe ser evacuado de la tubería completamente y por cualquier sistema, antes de aplicar la presión de prueba.
4. La tubería debe mantenerse sometida a la presión de prueba durante un tiempo no inferior a una hora.
5. En todos los casos, debe tenerse en cuenta las recomendaciones de las casas fabricantes de las tuberías en lo relacionado con la forma, duración, etc., de la prueba a presión.
6. En los casos en que resulte factible desde el punto de vista de impacto urbano, estas pruebas de presión deben realizarse antes de cubrir las zanjas en las que se encuentren los tramos enterrados de las tuberías que conformen la red de distribución de agua potable.

B.7.8.1.2 Alturas piezométricas

Para todos los **niveles de complejidad del sistema**, con el fin de verificar lo establecido en el diseño de la red de distribución, debe medirse la altura piezométrica en diferentes nodos de la red para las condiciones extremas de flujo, incluyendo el caudal máximo correspondiente al caudal máximo horario (QMH) o al caudal medio diario (Qmd) más el caudal de incendio, de cualquiera de los dos, el que resulte mayor. También debe verificarse la altura piezométrica para la hora del día en que se presenten los consumos mínimos. En todo caso, los puntos que se midan deben incluir aquellos nodos que, de acuerdo con el diseño, presentan las presiones máximas y las presiones mínimas para cada una de las condiciones de operación de la red.

Los datos tomados sobre alturas piezométricas en los diferentes nodos de la red deben ser guardados, con el fin de ser enviados, en caso de ser requeridos, a la SSPD.

B.7.8.2 Estanqueidad de la red

Una vez finalizada la instalación de las tuberías de la red de distribución debe llevarse a cabo una prueba de estanqueidad de ésta. La prueba consiste en aplicar por medio de una bomba de émbolo, provista de un manómetro, la presión hidrostática máxima de trabajo de la tubería y medir los escapes en el sector considerado por medio de un medidor instalado para tal fin.

El escape en L/h debe ser inferior al indicado mediante la ecuación

$$E = \frac{N * D * P^{\frac{1}{2}}}{7.35} \quad (\text{B.7.6})$$

Toda la longitud del tramo de la red de distribución que se someta a las pruebas de presión y estanqueidad debe recorrerse y revisarse cuidadosamente y deben repararse los tramos de tubería que fallen y las uniones defectuosas.

B.7.8.3 Válvulas

En el momento de entregar el proyecto de la red de distribución, de agua potable, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos referentes a la puesta en marcha de las válvulas.

B.7.8.3.1 Correcto funcionamiento del equipo electromecánico

Para todas las válvulas mecánicas o electromecánicas, debe verificarse el correcto funcionamiento antes de poner en servicio la red.

B.7.8.3.2 Presiones en las válvulas

Todas las válvulas, antes de ser instaladas en la red de distribución, deben ser operadas para asegurar su perfecto funcionamiento. En lo posible, todas las válvulas deben probarse al doble de la presión de trabajo en los talleres de la empresa prestadora de los servicios públicos o en la casa fabricante, siempre y cuando la prueba se encuentre certificada por un Organismo de Certificación. La prueba hidrostática de las válvulas se encuentra en las normas técnicas correspondientes (véase tabla B.6.19)

Se recomienda que una vez instaladas en la red de distribución, las tuberías que tienen instaladas válvulas sean sometidas a pruebas estáticas que lleven la presión a 1.5 veces la presión de trabajo de esa zona de la red de distribución con el fin de verificar la unión de la válvula con las tuberías.

B.7.8.3.3 Válvulas de purga

En todas las válvulas de purga que existan en la red de distribución, de agua potable deben verificarse su correcto funcionamiento y debe medirse el caudal y la velocidad de salida de agua bajo diferentes condiciones de operación.

También debe verificarse el correcto funcionamiento de las estructuras y conductos de desagüe del agua que sale de la red de distribución y su flujo hacia la red de alcantarillado. Si la válvula tiene una estructura de disipación de energía debe verificarse su correcto funcionamiento.

B.7.8.3.4 Ventosas

En todas las ventosas que existan en la red de distribución de agua potable deben hacerse la pruebas correspondientes que aseguren su correcto funcionamiento para las diferentes condiciones normales de operación establecidas por el diseño, verificando que queden cubiertas.

Las ventosas deben cumplir con las normas técnicas colombiana correspondientes, o con la norma AWWA C 512-92.

B.7.8.3.5 Aislamiento de sectores

Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** y para aquellos casos de los niveles **medio de complejidad** en los que existan diferentes sectores de abastecimiento en la red de distribución de agua potable, especialmente en el caso de ampliaciones, debe verificarse el aislamiento de cada uno de los sectores de la red operando las diferentes válvulas provistas para tal función. Debe procederse a cerrar las válvulas y a verificar que en la zona aislada la presión se mantenga a lo largo de un período de prueba no inferior a una hora.

B.7.8.4 Hidrantes

Una vez finalizada la construcción de la red de distribución de agua potable o una ampliación de esta, para **todos los niveles de complejidad del sistema**, debe verificarse la operación de los hidrantes.

Para cada uno de los hidrantes que conforman la red de distribución deben verificarse los siguientes aspectos: caudal, presión en el hidrante para diferentes horas del día estando el hidrante cerrado, presión a la salida en el hidrante cuando se encuentre operando a caudal máximo y color del hidrante. Debe ponerse especial atención a la correspondencia entre el color del hidrante y el caudal de salida, de acuerdo a lo establecido en el literal B.7.6.9, hidrantes, de este título.

B.7.8.5 Acometidas domiciliarias

Antes de proceder a la instalación de todos los accesorios que conforman las acometidas domiciliarias de la red de distribución de agua potable, deben someterse los medidores, las piezas especiales y accesorios a aprobación y homologación por parte de la empresa prestadora del servicio, por lo menos 30 días antes de la instalación en la red de distribución.

Para obtener la aprobación y homologación por parte de la empresa deben someterse todos los accesorios que conforman las acometidas domiciliarias a pruebas de caudal y de presión tanto estática como dinámica.

B.7.8.6 Golpe de ariete

Únicamente para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, una vez finalizada la instalación de la red de distribución, debe hacerse una prueba para verificar lo establecido por el diseño con respecto al golpe de ariete. Esta prueba debe llevarse a cabo en las condiciones extremas de operación normal de las válvulas que conforman los diferentes sectores de la red de distribución de agua potable. Se debe verificar que las

presiones estén dentro los rangos calculados y que las estructuras antigolpe de ariete estén operando adecuadamente. Los datos de sobrepresiones y subpresiones detectados deben ser guardados para ser enviados, en caso de ser requeridos, a la SSPD.

B.7.8.7 Micromedición

Las pruebas de los micromedidores deben llevarse a cabo en el taller de micromedidores de la empresa prestadora del servicio en el municipio, cuando esta exista, o en el taller de micromedidores de otro municipio en caso de que ésta no exista en el municipio en cuestión.

Las pruebas de los micromedidores deben llevarse a cabo con los caudales establecidos en la normas técnica NTC-1063/3. Con el caudal de sobrecarga no debe obtenerse una pérdida de cabeza superior a los 98.1 kPa (10 m.c.a.).

Los micromedidores deben instalarse de tal forma que se garantice su fácil montaje y desmontaje, al igual que debe ser colocado sin obstáculos para su lectura.

B.7.8.8 Macromedición

Antes de instalar los macromedidores en la red de distribución de agua potable, ya sea aguas abajo de las plantas de tratamiento, aguas arriba de los tanques de compensación o en los puntos de entrada a sectores de la red bien definidos que pueden ser atendidos por empresas de prestación del servicio individuales, la empresa prestadora del servicio del municipio debe garantizar el correcto funcionamiento de éstos. Los macromedidores deben ser probados en los talleres de la empresa o, en caso de que éstos no existan, en talleres de empresas de municipios que cuenten con ellos o laboratorios certificados en su país de origen según normas ISO, AWWA, DIN o ASTM.

En casos de macromedidores especiales, la empresa prestadora del servicio en el municipio puede aceptar la calibración presentada por el fabricante, siempre y cuando éstos se encuentren homologados por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC).

B.7.8.9 Desinfección de la red de distribución

Antes de poner en servicio cualquier red de distribución, ésta debe ser desinfectada. La desinfección debe ser hecha por el instalador de la tubería.

Para la desinfección de la red de distribución deben tenerse en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Antes de la aplicación del desinfectante, la tubería debe lavarse haciendo circular agua a través de ella, y descargándola por las válvulas de purga con el objeto de remover todas las materias extrañas.
2. El desinfectante debe aplicarse donde se inicia la ampliación de la red de distribución, para el caso de ampliaciones, o en el inicio de la red de distribución, cuando ésta sea una red de distribución nueva. Para secciones de la red de distribución localizada entre válvulas, el desinfectante debe aplicarse por medio de una llave de incorporación.
3. Debe utilizarse cloro o hipoclorito de sodio como desinfectante. La tasa de entrada a la tubería de la mezcla de agua con gas de cloro debe ser proporcional a la tasa de agua que entra al tubo.
4. La cantidad de cloro debe ser tal que produzca una concentración mínima de 50 ppm.
5. El período de retención del agua desinfectada dentro de la red de distribución de agua potable no debe ser menor que 24 horas. Después de este período de retención, el contenido de cloro residual en los extremos del tubo y en los demás puntos representativos debe ser de por lo menos 5 ppm.
6. Una vez que se haya hecho la cloración y se haya dejado pasar el período mínimo, debe descargarse completamente la tubería. Cuando se hagan cortes en alguna de las tuberías que conforman la red de distribución con el fin de hacer reparaciones, la tubería cortada debe someterse a cloración a lado y lado del punto de corte.

7. Se debe hacer un muestreo final para llevar a cabo un análisis bacteriológico. En caso de que la prueba bacteriológica demuestre una calidad de agua que no cumpla con el decreto 475 de 1998, la tubería debe desinfectarse nuevamente.
8. El proceso de desinfección debe hacerse según la norma NTC 4246 o la AWWA C 651

B.7.9 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN

B.7.9.1 Presiones en la red de distribución

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 siguientes requisitos:

2. Para el **nivel bajo de complejidad** deben medirse las presiones en puntos preseleccionados de la red una vez al mes en horas de máximo y mínimo consumo.
3. Para el **nivel medio de complejidad** debe medirse la presión al menos una vez al mes en las horas de máximos y mínimos consumos.
4. Para el **nivel medio alto de complejidad** debe hacerse una medición diaria en horas de máximo y mínimo consumo, por lo menos en 4 puntos de medición distribuidos en la red de distribución.
5. Para el **nivel alto de complejidad** debe medirse la presión diariamente en las horas de máximo y mínimo consumo, en un punto por cada 60.000 habitantes, con un mínimo de 6 puntos de medición en la red. Para estos casos se recomienda la telemetría.

En todos los casos anteriores, los datos de presiones máximas y mínimas deben ser guardados por la Empresa de Servicios públicos para ser enviados, en caso de ser requeridos, a la SSPD.

B.7.9.2 Calidad de agua en la red

Una vez que la red de distribución se encuentre en operación y durante todo el período de vida útil de ésta, deben verificarse la calidad del agua en la red, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el **nivel medio de complejidad** debe hacerse un muestreo semanal en puntos preestablecidos de la red. El agua debe ser tomada teniendo en cuenta todas las precauciones para evitar su contaminación desde el momento en que se toma la muestra y el momento en que se analiza en laboratorio. En caso de que en el municipio no exista laboratorio, las pruebas de calidad de agua podrán realizarse en laboratorios de empresas de servicio de agua potable de otros municipios que cuenten con laboratorios debidamente certificados por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) y/o por el Ministerio de Salud Pública. En todos los casos debe cumplirse lo establecido por el Decreto 475 de 1998 del ministerio de Salud Pública, o el que lo reemplace.
2. Para el **nivel medio alto de complejidad** debe hacerse un muestreo de la calidad del agua al menos una vez al día en puntos preestablecidos. La empresa prestadora del servicio debe contar con el apoyo de un laboratorio de calidad de agua, debidamente acreditado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) y por el Ministerio de Salud Pública. El laboratorio de calidad de agua no debe pertenecer, necesariamente, a la empresa prestadora del servicio.
3. Para el **nivel alto de complejidad** debe hacerse un muestreo diario en puntos preestablecidos de la red. Las muestras de agua deben ser analizadas en un laboratorio de calidad de agua, debidamente acreditado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) y por el Ministerio de Salud Pública. Para este nivel de prestación de servicio se recomienda la instalación de medidas telemétricas de calidad de agua en la red, con el fin de conocer en tiempo real la calidad de agua en todo el sistema de acueducto del municipio.
4. Para el **nivel bajo de complejidad** no se requiere hacer muestreos de calidad de agua en la red de distribución. Los muestreos de calidad de agua a la salida de la planta son requeridos.

En todos los casos debe tenerse en cuenta lo establecido en el artículo 76 de la Ley 9 de 1979, o la que la reemplace, el cual dice: "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".

Para los **niveles de complejidad medio alto y alto**, el control de calidad de agua debe utilizarse para detectar el fenómeno de conexiones erradas (cross connection) y debe existir un programa permanente dirigido a realizar las correcciones necesarias para eliminar las conexiones del sistema de alcantarillado al sistemas de acueducto.

B.7.9.3 Fugas en la red de distribución

Una vez que la red de distribución de agua potable se encuentre en operación y durante todo el período de vida útil del proyecto, deben verificarse las posibles fugas y conexiones clandestinas en la red, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el **nivel medio de complejidad** debe hacerse una evaluación de pérdidas físicas y de las fugas al menos una vez al mes, en puntos preestablecidos de la red de distribución.
2. Para el **nivel medio alto de complejidad** debe hacerse una evaluación de pérdidas de fugas en diferentes puntos preestablecidos de la red, al menos una vez cada dos semanas.

Para el **nivel alto de complejidad** Deben existir programas permanentes de detección de fugas y de conexiones clandestinas, en puntos preestablecidos de la red. En este caso se recomienda el uso de medidas telemétricas de presiones y caudales en diferentes puntos de la red de distribución que permitan detectar en tiempo real la posible ocurrencia de fugas en los diferentes puntos de la red de distribución.

Para el **nivel bajo de complejidad** no se requiere hacer mediciones periódicas para la revisión de fugas en la red de distribución.

B.7.9.4 Macromedición

Una vez que la red de distribución se encuentre en operación, y durante todo el período de vida útil del proyecto, debe verificarse los caudales medidos por los macromedidores, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el **nivel bajo de complejidad** debe hacerse una medición horaria durante 24 horas de caudal a la entrada y salida de tanques y a la entrada de la red de distribución al menos una vez cada tres meses.
2. Para **nivel medio de complejidad** debe hacerse una medición horaria durante 24 horas de caudal a la entrada y salida de tanques de compensación y a la salida de la (o las) planta(s) de tratamiento de la red, al menos una vez cada dos meses.
3. Para el **nivel medio alto de complejidad** debe hacerse una medición horaria durante 24 horas de caudal a la entrada y salida de los tanques y a la salida de la o las plantas de tratamiento de la red cada mes.
4. Para el **nivel alto de complejidad** debe existir una medición permanente del caudal de entrada y salida de los tanques y de las salida de la (o las) planta(s) de tratamiento. Es obligatoria la lectura telemétrica de los macromedidores de tal forma que pueda conocerse los caudales producidos en tiempo real.

En todos los casos deben guardarse los registros de macromedición con el fin de ser enviados, en caso de ser requeridos, a la SSPD.

B.7.9.5 Micromedición

Durante todo el período de vida útil de la red de distribución deben hacerse muestreos en las acometidas domiciliarias con el fin de establecer el estado de los micromedidores. Deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el **nivel bajo de complejidad** se recomienda tomar una muestra representativa de micromedidores al menos una vez al año.
2. Para el **nivel medio de complejidad** debe hacerse un muestreo representativo de los micromedidores domiciliarios al menos una vez al año.
3. Para el **nivel medio alto de complejidad** debe hacerse un muestreo representativo por lo menos una vez cada seis meses para establecer el estado de los micromedidores.
4. Para el **nivel alto de complejidad** se requiere mantener un programa permanente de muestreo representativo de micromedidores domiciliarios, teniendo en cuenta el tipo de micromedidor, la fecha de instalación y otros aspectos que se consideren relevantes.
5. Los medidores retirados deben cambiarse por uno nuevo y enviarse a los talleres de micromedidores o laboratorios certificados, con el fin de verificar la exactitud de su medida. En caso de que en el municipio no exista taller de micromedición, los micromedidores podrán ser enviados a los talleres de micromedición de municipios que cuenten con ellos o a laboratorios certificados.
6. Durante el transporte debe asegurarse que los micromedidores se encuentren completamente sumergidos en agua o llenos de agua con tapones provisionales instalados a la entrada y salida del aparato para garantizar la estanqueidad, esto con el fin de evitar que la corrosión trabaje la piñonería.
7. En caso de que los medidores estén por fuera del rango de precisión establecido en las normas técnicas correspondientes (véase tabla B.7.12) multiplicado por 2, debe cambiarse aquella parte de la población correspondiente a la muestra defectuosa por medidores nuevos. En caso de no ser posible efectuar el muestreo, los micromedidores deben remplazarse cada 8 años.
8. De todas formas debe observarse lo establecido por la Ley 142 de 1994, la Ley 373 de 1997 y las disposiciones pertinentes de la Comisión Reguladora de Agua Potable y de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).

B.7.9.6 Hidrantes

Para el mantenimiento de los hidrantes debe tenerse en cuenta lo establecido en el artículo 77 de la Ley 9 de 1979, o la que la reemplace, el cual dice: "Los hidrantes y extremos muertos de la red de distribución de agua deben abrirse con la frecuencia necesaria para eliminar sedimentos. Periódicamente, debe comprobarse que los hidrantes funcionen adecuadamente". De acuerdo con este artículo, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el **nivel bajo de complejidad**, los hidrantes deben revisarse una vez cada año.
2. Para el **nivel medio de complejidad**, los hidrantes deben revisarse una vez cada seis meses.
3. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, los hidrantes deben revisarse una vez cada tres meses. La revisión de los hidrantes debe ser hecha por la empresa prestadora del servicio.

Los planes de revisión deben ser consultados con el cuerpo de bomberos de la localidad, en caso de que este exista.

B.7.9.7 Válvulas

Una vez que la red de distribución se encuentre en operación y durante todo el período de vida útil del proyecto, debe hacerse una inspección preventiva de las válvulas, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Cuando la función de la válvula sea el seccionamiento o el aislamiento de parte de la red, la válvula debe operarse con una frecuencia mínima de seis meses.
2. Cuando la función de la válvula sea la de servir de tubería de paso directo (bypass) la frecuencia mínima de operación debe ser una vez cada tres meses.
3. Cuando la función de la válvula sea la de purga o drenaje de la red de distribución, la frecuencia de operación mínima debe ser de una vez al año.

B.7.10 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO

Con respecto al mantenimiento de las tuberías de la red matriz y secundaria de la red de distribución, de agua potable, debe tenerse en cuenta todo lo establecido en el literal B.6.7-Aspectos del Mantenimiento- de este título.

B.7.10.1 Reparación de tuberías y accesorios

En caso de que haya que cambiar o reparar alguna de las tuberías o accesorios que forman parte de la red de distribución, estos trabajos deben hacerse en un tiempo mínimo, dentro de los límites recomendados en la tabla B.7.13, más allá de los cuales deberá ponerse en marcha un plan de emergencia con el fin de minimizar los efectos de racionamiento. Se debe registrar el sitio y la magnitud del daño ocurrido.

TABLA B.7.13
Tiempo límite para reparaciones

Nivel de complejidad del sistema	Tiempo límite de reparación antes de establecer un plan de emergencia
Bajo	48 horas.
Medio	36 horas.
Medio alto	24 horas.
Alto	12 horas

B.7.10.2 Reparación de micromedidores

En caso de que sea necesario cambiar y reparar uno de los micromedidores que conformen la red de distribución, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para los niveles **bajo y medio de complejidad** debe cambiarse o repararse el micromedidor en un máximo de dos semanas después de detectado el daño.
2. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** debe cambiarse o repararse el micromedidor en un máximo de una semana después de detectado el daño.

Con respecto a los medidores individuales, debe tenerse en cuenta todo lo establecido por el artículo 144 de la Ley 142 de 1994, o la que la reemplace, el cual dice: "Los contratos uniformes pueden exigir que los suscriptores o usuarios adquieran, instalen, mantengan y reparen los instrumentos necesarios para medir su consumo. En tal caso, los suscriptores o usuarios podrán adquirir los bienes y servicios respectivos que a bien tengan y la empresa deberá aceptarlo siempre que reúnan las características técnicas a las que se refiere esta ley.

La empresa podrá establecer en las condiciones uniformes del contrato las características técnicas de los medidores y del mantenimiento que deba dárseles.

No será obligación del suscriptor o usuario cerciorarse de que los medidores funcionen bien; pero sí será obligación suya hacerlos reparar o reemplazarlos a satisfacción de la empresa, cuando se establezca que el funcionamiento no permite determinar en forma adecuada los consumos o cuando el desarrollo tecnológico ponga a su disposición instrumentos de medidas más precisos".

También debe tenerse en cuenta lo establecido por el Artículo 145 de la Ley 142 de 1994, o la que la reemplace, con respecto al control sobre el funcionamiento de los medidores. Dicho artículo dice: "Las condiciones uniformes de contrato permitirán, tanto a la empresa como al suscriptor o usuario, verificar el estado de los instrumentos que se utilicen para medir el consumo; y obligarán a ambos a tomar precauciones eficaces para que no se alteren".

B.7.10.3 Mantenimiento de macromedidores

Con respecto al mantenimiento de los macromedidores que formen parte de la red de distribución de agua potable, debe tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para el **nivel bajo de complejidad** debe cambiarse o repararse el macromedidor en un plazo máximo de un mes, manteniendo la continuidad en el servicio.
2. Para el **nivel medio de complejidad** debe cambiarse o repararse el macromedidor en un plazo máximo de quince días, manteniendo la continuidad en el servicio.
3. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** debe cambiarse o repararse el macromedidor en un máximo de cinco días, manteniendo la continuidad en el servicio.

CAPÍTULO B.8

B.8. ESTACIONES DE BOMBEO

B.8.1 ALCANCE

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

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

B.8.2 CONSIDERACIONES GENERALES

El objetivo de este título es indicar los requisitos mínimos y las condiciones básicas que deben cumplir las estaciones de bombeo que se adelanten en cualquiera de las etapas de un sistema de acueducto.

En este capítulo se incluyen los estudios previos, las condiciones generales, los parámetros de diseño, los aspectos de la puesta en marcha, los aspectos de la operación y los aspectos del mantenimiento de todas los equipos eléctricos, hidráulicos, mecánicos y demás accesorios que conforman una estación de bombeo.

Así mismo, se establecen las diferentes condiciones que deben aplicarse para los cuatro **niveles de complejidad del sistema**.

B.8.3 ESTUDIOS PREVIOS

El diseñador debe efectuar ciertos estudios antes de llevar a cabo el diseño de la estación, con el fin de determinar las condiciones básicas de operación, fijar la capacidad y establecer el régimen de operación que asegure una operación económica.

B.8.3.1 Concepción del proyecto

Por regla general, se considera necesario el desarrollo de una estación de bombeo cuando se requiera elevar el nivel de la línea piezométrica para vencer una diferencia de altura topográfica, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores siempre que las alternativas de ampliación de estaciones existentes y el aprovechamiento de la gravedad no resulten factibles.

La estación de bombeo debe justificarse desde los puntos de vista técnico y económico, por medio de un estudio de la energía requerida por el sistema de acueducto y las fuentes de energía disponibles.

La conceptualización del proyecto debe incluir, como mínimo, los siguientes aspectos:

1. Relación con las demás partes del sistema. Debe conocerse el funcionamiento y reglas de operación de otros componentes, tales como plantas de tratamiento, tanques de compensación, redes de distribución entre otros, con el fin de lograr compatibilidad de la estación con el resto del sistema, especialmente en su capacidad y operación.
2. Inventario de las estaciones existentes, con el fin de determinar el aprovechamiento de instalaciones antiguas y su factibilidad de ampliación.
3. Altura dinámica total requerida por el flujo.
4. Capacidad de la estación.

5. Energía disponible.
6. Energía requerida.

B.8.3.2 Estudio de la demanda

Debe hacerse un estudio de población y demanda, según lo establecido en el capítulo B.2 para determinar la capacidad actual y futura de la estación, cantidad que debe estar acorde con el sistema que será atendido.

B.8.3.3 Aspectos generales de la zona

Debe hacerse un mapa de la zona de la estación, indicando edificaciones cercanas, vías existentes y por construir, cauces y drenajes principales. Así mismo, deben ubicarse redes de acueducto, alcantarillado, teléfonos, energía y gas.

Además, deben hacerse las descripciones del uso de la tierra y la urbanística de la zona.

B.8.3.4 Estudios topográficos

Deben presentarse planos topográficos de la zona, a escala adecuada. Cuando se considere necesario, los niveles **medio alto y alto de complejidad** deben presentar planos aerofotogramétricos.

B.8.3.5 Condiciones geotécnicas

Deben conocerse las propiedades del suelo en el sitio de la estación, por medio de un estudio de suelos característico del desarrollo de obras civiles.

B.8.3.6 Análisis de costo mínimo

En los niveles **medio alto y alto de complejidad**, debe hacerse un análisis de costo mínimo, según lo establecido en el Título A. Dentro del análisis debe tenerse en cuenta el costo inicial de los equipos y la construcción, los costos de operación, los costos de mantenimiento y los intereses del costo inicial en el período de depreciación.

B.8.3.6.1 Disposiciones para reducir el costo inicial

1. Las bombas deben ser preferiblemente del mismo tipo, capacidad y tamaño.
2. Las bombas deben operar con la máxima eficiencia posible.
3. Disposiciones para reducir los costos de operación
4. Siempre debe bombearse a un tanque de almacenamiento o compensación
5. Las bombas deben operar con la máxima eficiencia posible.
6. Debe hacerse un plan de ahorro de energía.
7. Disposiciones para reducir los costos de mantenimiento
8. Debe utilizarse el menor número posible de bombas.
9. Las bombas deben ser preferiblemente del mismo tipo de otras instalaciones existentes.

B.8.3.7 Disponibilidad de energía

Deben estudiarse las condiciones de suministro de energía, incluidos la capacidad de la estación generadora, la demanda de la estación de bombeo, la frecuencia de interrupciones en el servicio de energía, el sitio más cercano para derivar la energía, el voltaje, el ciclaje y el costo del kilowattio-hora.

Además, debe considerarse la posibilidad de utilizar varios tipos de energía incluidos energía eléctrica, gas, diesel, entre otros.

Podrá utilizarse la posibilidad de que la estación tenga generación propia de energía, siempre y cuando ésta resulte la alternativa más económica.

En el **nivel alto de complejidad**, debe colocarse permanentemente una planta generadora disponible para el caso de emergencias.

B.8.3.8 Factibilidad de ampliación

Deben considerarse las facilidades técnicas para una posible ampliación futura. Deben definirse las etapas de expansión, indicando en cada una el número de bombas, el tipo de bombas y la capacidad estimada de la estación. Además, debe disponerse del espacio suficiente para la colocación futura de bombas y/o la ampliación de la casa de máquinas.

B.8.3.9 Calidad del agua que va a ser bombeada

Debe estudiarse la calidad del agua, tanto en sus propiedades físicas como químicas, con el fin de proteger los equipos de bombeo contra posibles daños causados por la contaminación del agua. Se debe poner especial cuidado en el caso de bombeo de agua cruda en las aducciones.

B.8.3.10 Vulnerabilidad y amenaza sísmica

Debe conocerse específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona en la cual se localiza el municipio en el que se diseñe o construya la estación de bombeo. En particular, debe tenerse en cuenta todo lo establecido por la NSR – 98 con respecto a los niveles de amenaza sísmica de las diferentes zonas del territorio nacional.

B.8.4 CONDICIONES GENERALES

La estación de bombeo debe cumplir con ciertas características y condiciones básicas, las cuales se dan a continuación.

B.8.4.1 Seguridad

La estación debe estar ubicada en un sitio estable contra la erosión.

La operación de la estación no debe afectar la calidad del agua.

B.8.4.2 Protección contra inundaciones

Durante la operación de la estación no deben presentarse inundaciones y la edificación debe tener drenajes adecuados. En el pozo de succión debe dejarse un nivel de protección contra crecientes y fallas en la evacuación del caudal.

B.8.4.3 Protección contra rayos

En caso de que la estación de bombeo sea eléctrica la subestación debe tener un pararrayos con buena conexión a tierra con el fin de proteger los equipos contra los rayos.

B.8.4.4 Protección contra incendios

Deben existir dispositivos para extinguir incendios, ubicados en lugares adecuados, los cuales deben estar perfectamente señalizados. Además, los materiales de la estación deben ser a prueba de incendio.

B.8.4.5 Facilidad de mantenimiento

Deben dejarse los accesos necesarios para efectuar las labores de mantenimiento. En los niveles medio alto y alto de complejidad, la estación debe diseñarse de tal forma que las labores de mantenimiento no afecten la prestación del servicio.

B.8.4.6 Operación económica

La estación debe tener el menor costo posible de operación y las bombas y los motores deben operar en una eficiencia cercana a la máxima posible.

B.8.4.7 Restricción de acceso

Deben tomarse las medidas de seguridad necesarias para evitar el acceso de personas extrañas, diferentes a aquellas encargadas de la operación y/o mantenimiento, mediante cerramientos.

B.8.5 PARÁMETROS DE DISEÑO**B.8.5.1 Período de diseño de las estaciones de bombeo**

El período de diseño depende del **nivel de complejidad del sistema**, según lo establecido en la tabla B.8.1.

TABLA B.8.1
Período de diseño, según el nivel de complejidad del sistema

Nivel de complejidad del sistema	Período de diseño
Bajo	15 años
Medio	20 años
Medio alto	25 años
Alto	30 años

Los Proyectos para las Estaciones de Bombeo deberán ser analizados y evaluados teniendo en cuenta el período de diseño, llamado también horizonte de planeamiento del Proyecto, para definir las etapas de construcción de las obras civiles y las de instalación de equipos, según las necesidades del proyecto, basadas en la metodología de Costo Mínimo.

Sin embargo, el período de diseño puede ser mayor, según el período de diseño de los demás elementos del sistema al que pertenece el bombeo.

B.8.5.2 Caudal de diseño

La capacidad de la estación debe ser el caudal máximo diario, QMD, si el bombeo es de 24 horas. Si se bombea menos horas al día la capacidad de la estación debe ser el caudal máximo diario dividido el porcentaje del tiempo de bombeo. Siempre debe bombearse a un tanque de almacenamiento o compensación.

No se permite el bombeo directo hacia la red de distribución. De igual forma, no se permite el bombeo directo desde la red de distribución.

Se exceptúan de las consideraciones anteriores las estaciones de bombeo de refuerzo, llamadas también Booster, para elevar la presión de la red en un determinado sector de servicio, con bombas de velocidad variable.

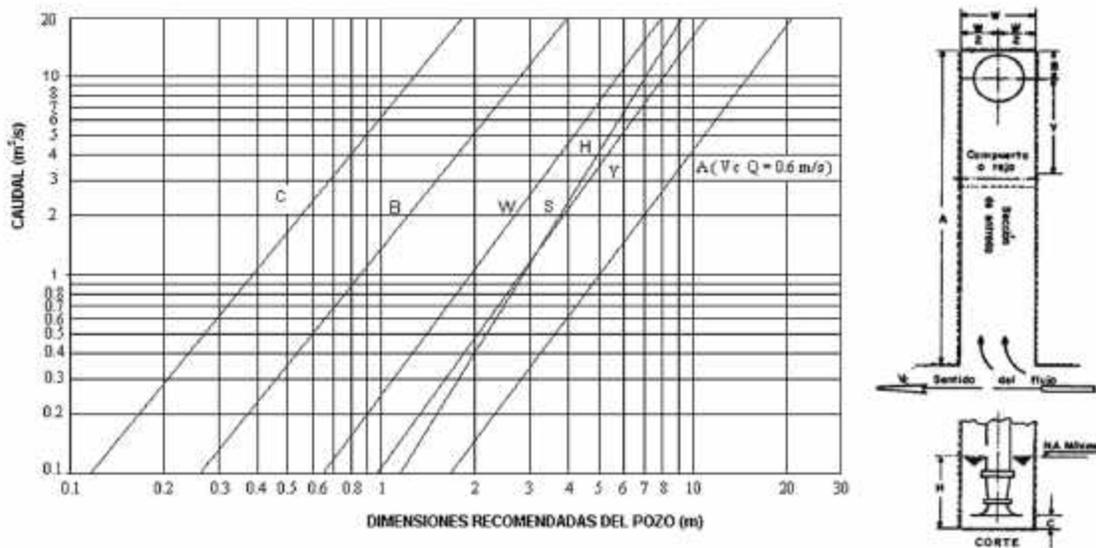
B.8.5.3 Pozo de succión**B.8.5.3.1 Dimensionamiento**

El pozo se debe diseñar con una capacidad igual o superior al caudal de diseño de las bombas. Para calcular sus dimensiones se recomienda utilizar la metodología del Hydraulic Institute, utilizando la figura B.8.1 En cuanto a la forma del pozo, deben seguirse las siguientes disposiciones:

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.

3. Debe evitarse la formación de vórtices.
4. En caso de que se tenga un canal como entrada al pozo, éste debe ser preferiblemente rectangular.
5. El pozo no debe tener cambios geométricos pronunciados, cambios bruscos de dirección en el flujo, pendientes pronunciadas y formas rápidamente divergentes.
6. Debe preverse un espacio para la instalación y montaje de los equipos de bombeo y tuberías, así como para las futuras labores de inspección y mantenimiento.
7. La entrada de agua al pozo debe estar por debajo del nivel de agua en la tubería de succión.
8. La distribución de velocidades del flujo de entrada en cada bomba debe ser lo más uniforme posible.

FIGURA B.9.1
Dimensionamiento de la cámara de succión



B.8.5.3.2 Submergencia

La submergencia mínima de la tubería de succión debe ser mayor que 2 veces su diámetro, pero nunca inferior a 0.50 m.

B.8.5.3.3 Distancia entre el fondo y/o paredes y la boca de la tubería

La distancia entre el fondo y paredes de la cámara 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 menor que 0.25 m.

B.8.5.3.4 Velocidad de entrada

La velocidad de entrada al pozo de succión no debe superar los 0.7 m/s. Se recomienda obtener una velocidad de 0.5 m/s.

B.8.5.3.5 Dispositivos complementarios

1. El pozo de succión debe contar con tuberías y válvulas de desagüe. En los niveles **medio alto y alto de complejidad** debe disponerse de un vertedero de exceso de agua en el pozo de succión.
2. La entrada debe estar provista de una rejilla, o en su defecto debe destinarse un espacio para un desarenador entre la entrada a la cámara y la tubería de succión.

B.8.5.4 Bombas

Las bombas deben seleccionarse de tal forma 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.

El dimensionamiento y el tipo de las bombas debe hacerse en conjunto con la tubería de impulsión y con el tanque de almacenamiento, buscando siempre la condición de mínimo costo, incluidos costo inicial, de operación, expansión y mantenimiento (Véase B.9.2.2, B.8.3.6).

Deben tenerse en cuenta las normas técnicas NTC 1775, y ANSI AWWA E 101-88.

Además, deben considerarse los siguientes criterios en la selección del tipo de bombas:

1. Características del agua que va a ser bombeada.
2. Características de sólidos suspendidos o sedimentos como cloruros y arenas, agua de mar para desalinizar, etc.
3. Tipo de energía disponible.
4. Espacio requerido.
5. Forma de operación prevista, ya sea en serie o en paralelo.
6. Variación en los niveles máximo y mínimo en la succión y la descarga, así como la variación en los caudales.
7. Tiempo de operación.
8. Compatibilidad con equipos existentes.

B.8.5.4.1 Número de bombas

El número de bombas por colocar en la estación debe definirse de acuerdo con la capacidad requerida y la energía disponible, según las siguientes disposiciones:

1. En el **nivel bajo de complejidad** deben colocarse dos bombas, cada una con una capacidad igual a la capacidad requerida.

2. En el **nivel medio de complejidad** debe colocarse un mínimo de dos bombas. Cuando se utilicen únicamente dos bombas, cada una de ellas debe tener una capacidad igual al caudal de diseño de la estación.
3. En los niveles **medio alto y alto de complejidad** el número de bombas debe ser determinado por el análisis de costo mínimo, colocando un mínimo de dos bombas. Cuando se utilicen únicamente dos bombas, cada una de ellas debe tener una capacidad igual al caudal de diseño de la estación.
4. Para **todos los niveles de complejidad**, cuando el número de bombas sea mayor que dos, la capacidad debe distribuirse equitativamente entre ellas. Además, deben preverse unidades de reserva del mismo tipo.
5. Para **todos los niveles de complejidad** que requieran tres o más bombas, debe colocarse una unidad adicional como reserva por cada tres bombas empleadas.

B.8.5.4.2 Potencia

La potencia requerida por la bomba debe ser suficiente para obtener la capacidad del sistema y se calcula en la siguiente forma:

$$P = \frac{Q\gamma H}{\eta} \quad (\text{B.8.1})$$

B.8.5.4.3 Cabeza neta de succión positiva (NPSH).

La cabeza neta de succión positiva disponible se calculará en la siguiente forma:

$$\text{NPSH disp} = \frac{P_{\text{atm}}}{\rho \cdot g} + H_{\text{es}} - H_f - \frac{P_v}{\rho \cdot g} \quad (\text{B.8.2})$$

H_{es} , es la altura estática de succión (incluyendo su signo) calculada como la diferencia de altura entre el plano de referencia del NPSH y el nivel del agua mínimo en el pozo de succión.

La cabeza neta de succión positiva requerida por el fabricante debe ser menor que el valor disponible en la instalación en por lo menos 20% para todas las condiciones 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.

B.8.5.4.4 Materiales

Los materiales de las bombas incluyendo los impulsores, las carcazas y otros componentes, deben ser seleccionados según las características del agua que va a bombearse, teniendo en cuenta: la temperatura, la conductividad, la capacidad de corrosión y sólidos en suspensión.

El material de las bombas, de diferentes componentes, debe resistir los efectos nocivos que el agua pueda causar en ellos.

B.8.5.5 Sala de bombas

En el dimensionamiento de la sala de bombas deben atenderse las siguientes recomendaciones:

1. El tamaño de la sala debe ser suficiente para alojar el conjunto 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 las unidades de bombeo.
2. Las dimensiones 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 sus costos.

B.8.5.6 Tuberías de impulsión y succión**B.8.5.6.1 Velocidad en tuberías de succión**

La velocidad máxima en tuberías de succión depende del diámetro, según la tabla B.8.2.

TABLA B.8.2
Velocidad máxima aceptable en la tubería de succión, según el diámetro

Diámetro de la tubería de succión (mm)	Velocidad máxima (m/s)
50	0.75
75	1.00
100	1.30
150	1.45
200	1.60
250	1.60
300	1.70
Mayor que 400	1.80

La velocidad mínima en tuberías de succión será 0.45 m/s.

B.8.5.6.2 Velocidad en tuberías de impulsión

La velocidad en las tuberías de impulsión debe estar entre 1.0 y 3.0 m/s. Valores por fuera del rango deben ser justificados económicamente.

B.8.5.6.3 Diámetros de la tubería

El diámetro de tuberías de succión y de impulsión no pueden ser menores que los admitidas por el equipo de bombeo. Se recomienda que el diámetro de la tubería de succión sea mayor que el de impulsión, por lo menos en 50 mm.

En caso de que el diámetro de la tubería de succión sea mayor que el de la admisión de la bomba, debe ponerse una reducción excéntrica con su parte superior horizontal.

B.8.5.6.4 Métodos de cálculo

Las pérdidas por fricción y las pérdidas menores deben calcularse según lo establecido en los literales B.6.4.4 y B.6.4.5, respectivamente.

B.8.5.7 Golpe de ariete

Debe tenerse en cuenta el efecto del golpe de ariete causado por interrupciones en la energía y la consecuente interrupción del flujo. Deben calcularse la sobre elevación de presiones, las subpresiones y las velocidades de onda, según lo establecido en el literal B.6.4.11.1 El análisis debe hacerse para el máximo caudal en las diferentes formas de operación.

Debe disponerse de los mecanismos y accesorios necesarios para aminorar los efectos de este fenómeno, tales como válvulas de alivio, almenaras, volantes, tanques hidroneumáticos, etc.

B.8.6 VÁLVULAS Y ACCESORIOS**B.8.6.1 Condiciones básicas**

La estación debe tener ciertos accesorios que permitan una fácil operación, según las siguientes disposiciones:

1. Las válvulas de regulación y válvulas de corte deben tener una señalización que indique si se encuentran abiertos o cerrados.
2. Para el **nivel alto de complejidad** o en válvulas mayores a 300 mm (12 pulgadas) las válvulas deben tener actuadores mecanizados.
3. Para válvulas de accionamiento manual, deben colocarse dispositivos que hagan posible su operación con una fuerza tangencial menor que 200 N.
4. Las válvulas y registros deben estar instalados en sitios de fácil acceso para el operador.
5. Los accesorios deben instalarse de tal manera que resulte fácil su inspección y mantenimiento, y que permitan un adecuado montaje y desmontaje.

B.8.6.2 Accesorios necesarios

En cuanto al tipo de válvulas necesarias, deben atenderse las siguientes recomendaciones:

1. Todas las unidades de bombeo deben tener una válvula de regulación y otra de cheque (retención) en la tubería de impulsión.
2. Las bombas instaladas en pozos secos, y que operen por debajo del nivel del agua de succión, deben tener válvula en la línea de succión.
3. En una tubería de succión que no trabaje bajo carga positiva debe instalarse una válvula de pie (retención) en la parte inferior para evitar su vaciado.
4. Deben ponerse válvulas de ventosa, cuyo uso y especificaciones depende del tipo de bomba que va a utilizarse, la operación y colocación adoptadas.

Deben consultarse las normas técnicas NTC 1991, NTC 2011 ; en el caso de utilizar válvulas de retención, debe tenerse en cuenta la norma técnica NTC 1752.

B.8.7 INSTALACIONES ELECTRICAS

Las instalaciones eléctricas para la acometida de alta tensión, la subestación transformadora, la acometida en baja tensión y el sistema de fuerza deben cumplir con las siguientes especificaciones.

En el caso de tuberías Conduit debe considerarse la norma técnica NTC 105 y las recomendaciones del Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 o el que lo reemplace.

B.8.7.1 Acometida en alta tensión

La acometida en alta tensión, desde la red de distribución, debe hacerse al mismo voltaje del sistema primario de distribución.

B.8.7.2 Subestación transformadora

Para el diseño de la subestación transformadora deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. En lo posible, deben diseñarse subestaciones exteriores.
2. En las subestaciones de menos de 250 kW, el transformador debe instalarse sobre postes de concreto.
3. Si la subestación es de 250 kW o más, el transformador debe instalarse superficialmente sobre una base de concreto provista de rieles para permitir su fácil instalación. Debe proveerse una cerca de malla protectora, provista de puerta suficientemente amplia que permita la entrada del transformador.
4. La protección eléctrica del circuito primario para cortocircuito debe hacerse con fusibles en caja primaria, en el último poste o en el seccionador.

5. Debe protegerse el circuito primario contra sobrevoltaje, mediante pararrayos, en las tres líneas con conexiones a tierra.
6. Debe protegerse el circuito secundario contra cortocircuitos, por medio de un interruptor automático.

|| Debe consultarse la norma técnica 3654 y, en general, la NTC 2050 Código Eléctrico Colombiano.

B.8.7.3 Acometida en baja tensión

Para el diseño de la acometida en baja tensión deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. El conductor debe diseñarse con un 25% de sobrecarga, en cobre, con el diámetro apropiado y teniendo en cuenta las ampliaciones en el futuro.
2. El tipo de aislamiento debe ser TW o su equivalente, y no se deben realizar empalmes en su trayectoria completa.
3. Debe proyectarse una acometida de varios cables por fase, con el objeto de facilitar la construcción, cuando el diámetro por fase del conductor de la acometida común sea mayor que 2/0.
4. Las acometidas deben de protegerse apropiadamente con tubería eléctrica PVC (embebida o enterrada) o Conduit metálica galvanizada (expuesta) según los requerimientos por número de conductores, calibre, disipación de calor, etc. en los diámetros existentes en el mercado.
5. Si el diámetro requerido es mayor a 100 mm (4 plg) se deberá considerar la utilización de condulines en concreto o un canal de concreto (cárcamo) con tapas en lámina corrugada (alfajor o similar).
6. Debe proveerse un desagüe apropiado en todo canal de concreto.
7. Deben proveerse cajas de empalme en la tubería, separadas a una distancia no mayor 20 m.
8. Las tuberías o canales protectores deben enterrarse a una profundidad mínima de 0.6 m por debajo del piso.
9. Los empalmes de tubería conduit metálica a PVC o viceversa se harán a través de caja de empalme ó por unión ó condulete, utilizando adaptadores roscados en la tubería PVC.

|| Las instalaciones eléctricas deben cumplir con la norma NTC 105 y con la NTC 2050.

B.8.8 SISTEMA DE FUERZA

En general, para el diseño de los circuitos de los motores el diseñador debe ceñirse a las Normas del Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 y por la NTC 2805 – Motores y Generadores Eléctricos.

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 se compra energía eléctrica y no hay seguridad en el servicio, deben proveerse fuentes de energía suplementarias, 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 golpe de ariete) y un buen factor de potencia. Se recomiendan los motores asíncronos con rotor de tipo jaula de ardilla, y el uso de capacitores para mejorar las condiciones en el arranque y el funcionamiento del sistema
4. Arrancadores:
 - Para motores con potencia menor que 7.46 kW (10 HP) deben usarse arrancadores de pleno voltaje, ó arrancadores compensados.

- Para motores con potencia de, 7.46 kW (10 HP), ó mayores debe investigarse un arrancador que se ajuste al par solicitado por el montaje realizado (directo) y de acuerdo con la secuencia de arranque. Se pondrá especial atención al estudio de arrancadores electrónicos que permitan ahorro en energía.
5. Voltaje de los circuitos:
- Se recomiendan voltajes de :
- 115 Vac monofásico, para motores menores ó iguales que ½ HP.
 - Entre 200 y 500 Vac trifásico, para motores mayores que ½ y menores ó iguales que 350 HP.
 - Mayores de 1000 Vac trifásico, para motores mayores que 350 HP.
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: deben usarse interruptores automáticos con protección termomagnética - protección contra sobre cargas y contra cortos circuitos. Para un esquema básico de arrancador: interruptor - contactor - térmico, el primero deberá ser no automático, sólo para protección contra corto circuito y el tercero (térmico) para efectos de proteger contra excesos de corriente (sobrecarga).
8. Conductores y aislamiento: Al especificar los conductores debe tenerse en cuenta el posible cambio de potencia de los motores en el futuro. Los conductores deben ser de cobre con aislamiento tipo TW para 600 voltios.
9. Canalización de los conductores:
- La canalización debe hacerse en tubería conduit galvanizada o PVC, si el diámetro requerido no es mayor que 100 mm (4 pulgadas).
 - Si el diámetro requerido es mayor de 100 mm (4 pulgadas), debe utilizarse más de una tubería de 50 mm (2 pulgadas) o menor, 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 unido a los interruptores automáticos, accionamientos por flotador y otros elementos para el control instalados en el bombeo, con el objeto de actuar sobre los circuitos, permitan el arranque y parada a control remoto del arrancador.
11. Conexión de carcasa a tierra: deberá proveerse durante la construcción de la obra civil un sistema de 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 y al que debe conectarse rígidamente la carcasa de los motores.

B.8.9 SISTEMA DE ALUMBRADO

Para la instalación eléctrica deben seguirse las Normas del Código Eléctrico Colombiano NTC 2050. Para las instalaciones de iluminación deben seguirse las recomendaciones del CIDET, IES o su equivalente:

1. Deben protegerse los circuitos con interruptores automáticos con protección térmica y magnética.
2. La potencia inicial para un circuito de 15 amperios no debe exceder de 1 kw.
3. La caída de tensión de un circuito derivado no debe exceder el 3%.
4. En ningún caso debe usarse un conductor menor que el No. 12.
5. Si en el sistema de fuerza se utiliza un voltaje de línea de 200 voltios, la red de alumbrado puede derivarse del neutro y una de las fases, para obtener un voltaje de 127 voltios.
6. Si en el sistema se utiliza un voltaje de 440 voltios, la red de alumbrado debe proveerse de un transformador de 440/208/120 Voltios.

B.8.10 DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN Y CONTROL

B.8.10.1 Instrumentación

Los dispositivos de control deben medir en todo momento las condiciones de operación y detectar fallas rápidamente. En los niveles **medio alto y alto de complejidad**, estos dispositivos deben ser automáticos, reduciendo al máximo la intervención del operador en las labores de medición.

Como mínimo, deben colocarse los siguientes dispositivos de control:

- Manómetros en la descarga.
- Indicadores de presión en la línea de succión, cuando ésta trabaje en presiones negativas.
- Un interruptor eléctrico accionado por flotador o electrónicamente en el tanque de succión conectado con el arrancador de la bomba.
- Un interruptor eléctrico accionado por flotador o electrónicamente en el tanque de descarga, conectado con el arrancador de la bomba.
- Alarma de bajo nivel en la succión
- Se recomienda un totalizador de caudales a la salida de la estación.

Además de los dispositivos anteriores, en los niveles **alto y superior** deben colocarse los siguientes:

- Cuando se tiene cabeza positiva de succión, un reóstato regulador conectado a la tubería de succión de cada bomba.
- Manovacuómetro en la sección de control para controlar las presiones a la entrada de la bomba.
- Tacómetro en el motor de la bomba.
- Indicadores de presión y temperatura del aceite en los motores de combustión interna.
- Voltímetros y amperímetros en la conexión a cada bomba.
- Válvula de cierre automático en la entrada del pozo de succión, accionada con el llenado del pozo.
- Sistemas de autolubricación de las bombas y cebado automático.
- Relé de mínima potencia conectado al arrancador del motor.
- Relé de máxima potencia para proteger el motor de altos voltajes.
- Relé diferencial de fases para proteger el motor de variaciones de tensión de una fase individual.
- Relé de contacto a tierra para proteger el motor de un eventual contacto a tierra.

B.8.10.2 Sala de control

Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, los sistemas de medición deben transmitir los datos a la sala de control, en la cual se ubicarán tableros que indiquen las condiciones de operación de la estación. Como mínimo, los tableros deben incluir el caudal instantáneo por unidad de bombeo, la presión en las líneas de succión y descarga, el nivel del agua en el pozo de succión, la temperatura y presión del aceite, el voltaje y amperaje en las líneas de alimentación de las bombas y las revoluciones por minuto de los motores.

Así mismo, en la sala de control deben disponerse los interruptores y mecanismos que permitan poner fuera de servicio cualquier elemento relacionado con el sistema de bombeo.

B.8.11 INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS

B.8.11.1 Accesos y escaleras

Entre los diferentes pisos deben colocarse escaleras seguras y apropiadas que permitan la movilización del personal y los equipos necesarios. En caso de falta de espacio, deben usarse escaleras metálicas con barandilla, peldaños amplios y piso antideslizable.

B.8.11.2 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.

B.8.11.3 Señalización

La estación debe contar con una señalización visual clara en toda el área, indicando zonas de peligro de alta tensión, salidas de emergencia, localización de extintores, áreas de tránsito restringido y demás elementos y actividades que sea necesario resaltar por su peligro potencial o porque resulten importantes en la prevención de accidentes.

La señalización debe cumplir con la norma técnica NTC 1461 ; Las señales contra incendio, deben considerar las normas técnicas NTC 1931, NTC 1867.

B.8.11.4 Ventilación

1. Todas las salas, compartimientos, pozos y otros recintos cerrados por debajo del nivel del terreno, que puedan presentar un aire perjudicial, deben tener 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 detecten concentraciones perjudiciales de gases en el aire.

Debe consultarse la norma técnica NTC 1260.

B.8.11.5 Protección contra incendios

Debe colocarse extintores en sitios de fácil acceso donde puedan ocurrir inicios de incendio.

La protección contra incendios debe incluir equipos de detección de incendios, para lo cual se debe cumplir con la norma NTC 1483.

B.8.11.6 Equipos de movilización

Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, la estación debe contar con elementos que permitan el transporte y movilización de maquinaria y equipo, tales como puentes grúas, rieles, poleas diferenciales, etc., teniendo en cuenta las siguientes disposiciones:

1. La capacidad del equipo deber ser suficiente para mover el elemento de mayor peso que pueda ser transportado.
2. El curso del equipo debe ser analizado para permitir en todo momento el retiro, movilización y reposición de cualquier elemento de la estación.
3. Deben ser previstos los accesos necesarios en 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.

B.8.11.7 Drenaje de pisos

1. Deben ser previstos uno o dos pozos de drenaje, hacia los cuales debe conducirse el agua de fugas o lavado, por medio de una pendiente muy suave en el piso de la sala de bombas.

2. Cuando los pozos de drenaje no puedan ser evacuados por gravedad, deben disponerse bombas para tal fin. En los niveles **alto y superior**, estas bombas deben accionarse automáticamente por sensores que detecten el nivel del agua en el pozo.

B.8.11.8 Instalaciones hidráulicas y sanitarias

1. Debe proveerse un tanque con capacidad adecuada para atender las necesidades de agua potable en la estación de bombeo.
2. Las aguas residuales provenientes de lavado de equipos y limpieza deben ser recogidas por un sistema adecuado que las conduzca hasta un sitio seguro, desde el punto de vista sanitario.

B.8.11.9 Aislamiento acústico

1. En caso de que puedan presentarse incomodidades para los vecinos de la estación por ruido excesivo, debe diseñarse un sistema de aislamiento acústico de la estación.
2. Cuando exista, la sala de operación y control debe tener aislamiento acústico de la sala de bombas.

B.8.12 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA

B.8.12.1 Inspecciones preliminares

En la etapa de puesta en marcha deben realizarse las siguientes inspecciones en los diferentes elementos de la estación de bombeo, antes de continuar con cualquier prueba:

1. Debe verificarse que el sentido de giro del motor sea correcto.
2. Deben verificarse todas las instalaciones eléctricas en sus conexiones y aislamientos.
3. Debe verificarse el correcto funcionamiento de válvulas y accesorios en su apertura y cierre. Debe medirse el tiempo de accionamiento y corregirse un mecanismo, en caso de encontrar necesidad de grandes esfuerzos para su operación.
4. Debe observarse el correcto funcionamiento de interruptores, arrancadores, sensores y demás elementos de control, en especial si éstos son de accionamiento automático.
5. Debe asegurarse que los ejes de los motores estén perfectamente alineados.
6. Los motores y válvulas deben estar perfectamente lubricados. Debe verificarse la calidad y cantidad del aceite lubricante.
7. En general, debe observarse el aspecto general de la estación en sus acabados, pintura, protecciones y accesos.

B.8.12.2 Pruebas preliminares

Deben realizarse unas pruebas preliminares de bombeo en las condiciones normales y críticas de operación con el fin de detectar posibles errores y tomar las medidas correctivas, antes de dar la estación de bombeo a disposición del sistema de acueducto.

El constructor debe realizar estas pruebas, tomando registros de los datos de los cuales se exija medición y presentar un informe de la prueba ante la Superintendencia de Servicios Públicos, el cual debe contener el resultado de los ensayos realizados y las condiciones anormales encontradas.

En caso de encontrar anomalías en el funcionamiento o condiciones de operación diferentes a las previstas en el diseño, deben tomarse las medidas correctivas que sean necesarias antes de colocar la estación al servicio del sistema de acueducto.

B.8.12.2.1 Pozo de succión

Debe hacerse una prueba hidrostática con el nivel máximo posible, con el fin de detectar fugas y verificar el comportamiento estructural.

Debe observarse la forma de las corrientes del 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.

B.8.12.2.2 Bombas y motores

En una primera inspección del comportamiento de las bombas deben tenerse en cuenta las siguientes disposiciones:

1. Para cada bomba individual deben observarse las condiciones de circulación del agua y la posible vorticidad en el pozo de succión. Debe prestarse especial atención a la posible entrada de aire a la tubería de succión.
2. Debe medirse el número de revoluciones por minuto, la presión en las líneas de succión y descarga, la presión y temperatura del aceite, y calcularse la cabeza neta de succión positiva para asegurar que no ocurra el fenómeno de cavitación.
3. Deben medirse los niveles de ruido y vibración y observar el color del gas de escape cuando haya motores de combustión interna.
4. En el caso de motores diesel, deben estimarse los tiempos de arranque.
5. Debe obtenerse el punto de operación de la estación de bombeo, midiendo el caudal total a la salida de una unidad de bombeo y la altura dinámica total suministrada.

B.8.12.2.3 Dispositivos de control

Debe asegurarse un normal funcionamiento de los equipos de medición y control. Debe observarse el comportamiento de manómetros, sensores, flotadores, indicadores de nivel y demás dispositivos de control.

B.8.13 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN

Durante la operación de la estación, deben seguirse las disposiciones mostradas a continuación:

1. El funcionamiento de la estación de bombeo debe ser verificado permanentemente por al menos un técnico preparado para supervisar la operación y realizar las acciones correctivas o de suspensión del servicio en caso de que se presente cualquier situación anormal.
2. En los niveles **medio alto y alto de complejidad**, el accionamiento de bombas debe ser automático, mediante sensores de nivel en los pozos de succión y descarga, de tal forma que se apaguen las bombas, en caso de que los niveles de agua impidan el normal funcionamiento del sistema de bombeo.
3. Los dispositivos de medición y control deben dar indicaciones visuales y sonoras de una situación de potencial peligro.
4. Para los **niveles de complejidad del sistema medio alto y alto**, los parámetros mencionados a continuación deben medirse permanentemente, datos que deben almacenarse en un registro y tenerse a disposición de la SSPD.
 - Caudal total de la estación.
 - Presión en las líneas de succión y de impulsión.
 - Nivel en el pozo de succión.
 - Niveles de ruido y vibración.

B.8.14 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO

Debe definirse un programa rutinario de labores de inspección, mantenimiento y reparación, estableciendo una serie de actividades diarias, mensuales y anuales, según las siguientes disposiciones:

1. El mantenimiento de todo equipo electromecánico debe ser de carácter predictivo.
2. En los niveles **medio alto y alto de complejidad**, el programa de mantenimiento debe ser de labores de tipo predictivo permitiendo en todo caso el normal funcionamiento de la estación sin interrupciones en el servicio.
3. En el **nivel medio de complejidad**, el programa de mantenimiento debe ser de tipo preventivo.
4. En el **nivel bajo de complejidad**, el programa de mantenimiento debe incluir labores de carácter correctivo.
5. Debe llevarse un registro de las actividades de mantenimiento realizadas, que incluya el tipo de daño presentado, las posibles fallas, repuestos utilizados, tiempo de reparación y medidas preventivas tomadas para disminuir su ocurrencia.

B.8.14.1 Equipos eléctricos

Las labores de mantenimiento de los equipos eléctricos deben realizarse de acuerdo a los manuales de mantenimiento elaborados por cada empresa, según lo establecido en el Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050) y los manuales de operación y mantenimiento de los fabricantes.

B.8.14.2 Equipos de bombeo y protección eléctrica

Las labores de mantenimiento preventivo deben incluir las siguientes actividades :

1. Como actividad diaria debe hacerse una inspección general a los equipos de bombeo, el tablero de control y los niveles del agua. De igual forma, debe prestarse especial atención a las condiciones de operación, tales como cantidad de ruido y vibración
2. Con una frecuencia de un mes como mínimo, debe realizarse limpieza de los equipos de bombeo, verificación de la calidad del aceite de los motores y de las instalaciones eléctricas.
3. Con una frecuencia de una vez cada año, o menor, debe hacerse alineación de los motores de las bombas y verificación del estado de las protecciones eléctricas.
4. Debe verificarse el funcionamiento y operación de las válvulas de cheque, por lo menos cada seis meses.

Deben tomarse las medidas correctivas necesarias en caso de encontrar anomalías en cualquiera de los elementos de la estación.

B.8.14.3 Cámara de succión

1. En los niveles **bajo y medio de complejidad** debe hacerse una limpieza del pozo de succión y verificación de exfiltraciones una vez cada año, como mínimo.
2. En los niveles **medio alto y alto de complejidad** debe hacerse una limpieza del pozo de succión y verificación de exfiltraciones una vez cada seis meses, como mínimo.

B.8.14.4 Adquisición de repuestos

1. En el **nivel alto de complejidad** debe existir disponibilidad y/o adquisición inmediata de todos los insumos necesarios para reparación y mantenimiento.
2. En los niveles **medio y medio alto de complejidad** debe existir disponibilidad y/o adquisición de los insumos para la reparación de cualquier elemento en 48 horas como máximo. Si la inexistencia del insumo requerido implica una suspensión forzosa del servicio en parte de la estación, la adquisición debe hacerse en un máximo de 24 horas.

3. En el **nivel bajo de complejidad** debe existir disponibilidad y/o adquisición de los insumos para la reparación de cualquier elemento en 72 horas como máximo. Si la inexistencia del insumo requerido implica una suspensión forzosa del servicio en parte de la estación, la adquisición debe hacerse en un máximo de 24 horas.

CAPÍTULO B.9

B.9. TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y COMPENSACIÓN

B.9.1 ALCANCE

El objetivo de este literal es indicar los requisitos mínimos y las condiciones básicas que deben cumplir los tanques de compensación que se diseñen y construyan como parte un sistema de acueducto, indicando aspectos relativos a los estudios previos, el diseño, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento, incluidas sus obras anexas y complementarias.

En este capítulo se tratan únicamente los aspectos relacionados con el funcionamiento hidráulico del tanque. Los aspectos de diseño estructural y de construcción son tratados en el Título G.

Así mismo, se establecen los diferentes requisitos para los cuatro niveles de complejidad del sistema. Las disposiciones establecidas en este título deben cumplirse para los cuatro niveles de confiabilidad del sistema, a menos que se indique lo contrario.

B.9.2 ESTUDIOS PREVIOS

El diseñador debe efectuar los estudios básicos antes de llevar a cabo el diseño del tanque, con el fin de determinar las condiciones básicas de diseño, las necesidades básicas del tanque, la relación dentro de un sistemas de acueducto, la capacidad y los criterios de operación.

B.9.2.1 Concepción del proyecto

Un tanque de compensación tiene la función de almacenar agua y compensar las variaciones entre el caudal de entrada y el consumo a lo largo día. Por tanto, durante la concepción, el diseñador debe establecer las necesidades de demanda y las variaciones del consumo, a lo largo del día, de la red de distribución, para definir la magnitud del almacenamiento requerido. Así mismo, debe determinar las zonas de presión en la red de distribución, y fijar los niveles de agua requeridos para mantener los valores establecidos en ella.

Un tanque de compensación se considera necesario para las siguientes actividades:

1. Suministrar agua potable a los consumidores en la cantidad necesaria.
2. Suministrar suficiente agua en caso de ocurrir situaciones de emergencia, tales como incendios, interrupciones por daños en la aducción, conducción o estaciones de bombeo (Volumen de emergencia).
3. Compensar las variaciones de los consumos que se producen durante el día (Volumen de compensación).
4. Mantener presiones de servicio adecuada en la red de distribución.

Además, el diseñador debe conocer los siguientes puntos en la etapa de conceptualización:

- Curva de demanda del sistema de distribución
- La reserva total necesaria para cada zona de presión.
- La localización en planta.
- El número de módulos y la definición de la etapas de ejecución.
- Cota de los niveles de agua.

- Cota de los niveles máximo y mínimo de agua. Cota de rebose.
- Funcionamiento de otros componentes del sistema de abastecimiento tales como estaciones de bombeo, planta de tratamiento, red de distribución, tanques existentes, etc.

B.9.2.2 Análisis de costo mínimo

Para el diseño del tanque, en los niveles **medio, medio alto y alto de complejidad** debe considerarse, en todos los casos, un análisis de costo mínimo, siguiendo los lineamientos establecidos en el Título A. Para el **nivel bajo de complejidad**, este análisis de costo mínimo no será obligatorio.

En caso de que el tanque tenga alimentación desde un sistema de bombeo, el análisis debe considerar en conjunto el sistema de bombeo, la tubería de impulsión y el almacenamiento.

En caso de que se adelante un tanque y una red de distribución nuevos, los niveles del tanque para suministrar presiones adecuadas deben fijarse con un criterio de optimización de la red de distribución, buscando encontrar una solución de costo mínimo de todo el conjunto. Debe escogerse el tanque de almacenamiento que, proveyendo un caudal y presiones adecuados en los puntos extremos de la red, implique los mínimos costos 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 largo plazo.

B.9.2.3 Estudio de la demanda

El diseñador debe conocer el estudio de la demanda de agua para la localidad, o en su defecto debe realizar este estudio, siguiendo lo establecido en el literal B.2, Dotaciones, de este título.

B.9.2.4 Curvas de demanda horaria

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

Para los niveles **medio, medio alto y alto de complejidad** debe contarse con curvas de demanda horarias propias de la población.

B.9.2.5 Aspectos generales de la zona

Debe hacerse una descripción general de la zona, incluidos un estudio urbanístico, usos de la tierra, vías existentes y proyectadas, redes de distribución de otros servicios tales como acueducto, alcantarillado, energía y gas domiciliario, edificaciones cercanas y demás aspectos que sean de importancia para describir la zona cercana al sitio de emplazamiento del tanque de compensación.

B.9.2.6 Estudios topográficos

El diseñador debe contar con toda la información topográfica del área del tanque. Entre otros aspectos, esta información debe incluir los planos a escala 1: 500 o más detallada. En el **nivel alto de complejidad** deben tenerse fotografías aéreas de la zona y los planos de catastro de instalaciones de sistemas de infraestructura, tales como carreteras, líneas de transmisión, industrias, etc.

B.9.2.7 Condiciones geológicas

Deben conocerse las propiedades físicas del subsuelo en el sitio del tanque por medio de un estudio de suelos realizado para obtener propiedades mecánicas, permeabilidad y características químicas del suelo.

Deben realizarse exploraciones y perforaciones in situ para profundizar el conocimiento de las condiciones geotécnicas.

Además, debe conocerse el nivel freático en la zona y sus fluctuaciones y considerar el efecto de flotación sobre el tanque cuando éste se encuentre vacío.

B.9.2.8 Factibilidad de ampliación

Debe identificarse y justificarse la expansión económica por etapas de construcción, de acuerdo con la proyección de almacenamiento requerida y de demanda en todo el período de diseño.

Deben definirse las etapas de expansión, indicando en cada una la capacidad del tanque y las necesidades de regulación. Además, debe disponerse del espacio suficiente para la construcción de una futura ampliación, previendo el menor número de interrupciones en el servicio de los tanques ya construidos.

B.9.2.9 Trazado de la red y delimitación de zonas de presión

Deben conocerse las diferentes zonas de presión establecidas en la red de distribución, al igual que la presión requerida para cada una de ellas. Debe estudiarse el trazado de la red para asegurar compatibilidad entre los niveles del tanque y la presión en diferentes puntos.

B.9.2.10 Vulnerabilidad y amenaza sísmica

Deben conocerse específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona en la cual se localizará el tanque. En particular, debe tenerse en cuenta todo lo establecido por la NSR - 98 con respecto a los niveles de amenaza sísmica de las diferentes zonas del territorio nacional.

B.9.3 CONDICIONES GENERALES

B.9.3.1 Seguridad

El tanque debe estar localizado en terrenos no susceptibles de deslizamientos o inundaciones. Además, debe ser estable con respecto a la calidad del suelo de cimentación y a fallas de origen geotécnico o geológico. Igualmente, la estructura debe ser estable para el sismo de diseño correspondiente a la zona de amenaza sísmica en que se encuentre ubicado el municipio objeto del sistema de acueducto.

B.9.3.2 Facilidad de mantenimiento

El tanque debe diseñarse de tal forma que puedan realizarse labores de mantenimiento con el mínimo de interrupciones, teniendo en cuenta las siguientes disposiciones:

1. Para los niveles **medio, medio alto y alto de complejidad** el tanque debe tener como mínimo dos compartimientos que puedan operar en forma independiente.
2. Para el **nivel bajo de complejidad** y cuando el tanque tenga un solo compartimiento debe colocarse una tubería de paso directo (bypass) que permita mantener el servicio mientras se efectúa el lavado o la reparación del tanque, con la debida consideración del aumento que pueda presentarse en la presión en caso de que el tanque trabaje como una cámara aliviadora de presiones.
3. El tanque debe estar provisto de válvulas para el cierre de las tuberías de entrada, de la tuberías de salida, descarga de fondo y rebose que permitan la reparación de éstas, aún cuando el tanque se encuentre lleno de agua.
4. Los dispositivos para el cierre de las tuberías de entrada y salida deben ser instalados dentro de una caja que permita facilidad en su operación.
5. El diseño debe prever la forma de mantenimiento.

B.9.3.3 Restricción de acceso

Deben tomarse las medidas de seguridad necesarias mediante cercados, vías de acceso restringidas, vigilancia o cualquier otra forma, para evitar el acceso de personas extrañas a aquellas encargadas de la operación y/o mantenimiento.

B.9.3.4 Localización de tanques

Para la ubicación de los tanques deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones :

1. Es conveniente que se ubique un tanque inmediatamente aguas abajo de las plantas de tratamiento.
2. Los tanques urbanos deben localizarse lo más cerca posible de la red de distribución partiendo los puntos altos de la población y asegurando el mantenimiento de presiones adecuadas.
3. El área para el emplazamiento del tanque no podrá situarse en zonas que presenten drenaje natural de agua lluvia o que sea susceptibles de inundaciones. En caso de que exista la posibilidad del paso de agua lluvias en las cercanías del tanque, deben evitarse infiltraciones hacia el interior del tanque.
4. La localización del tanque debe garantizar la presión mínima en la red de distribución (véase B.6.4.11.4)
5. Si el tanque es enterrado o semienterrado, debe estar alejado de cualquier fuente de contaminación, tales como pozos sépticos, depósitos de basuras, letrinas, sumideros, corrales, etc. y debe tener cubierta.
6. Si el tanque es metálico, debe situarse en zonas donde se minimice el riesgo de corrosión.

B.9.3.5 Distancia a otras redes

La distancia mínima de un tanque enterrado o semienterrado a una tubería de alcantarillado debe ser mayor que 30 m, cuando el terreno es impermeable, hasta una profundidad de 1 m por debajo del fondo del tanque y mayor que 45 m cuando el terreno es permeable.

Las distancias establecidas en el párrafo anterior pueden ser reducidas a la mitad, si se instala un sistema de drenaje que rodee externamente el perímetro del fondo del tanque.

B.9.4 PARÁMETROS DE DISEÑO**B.9.4.1 Período de diseño**

El período de diseño depende del nivel de complejidad del servicio, según lo establecido en la tabla B.9.1.

TABLA B. 9.1
Período de diseño, según el nivel de complejidad del sistema

Nivel de complejidad del sistema	Período de diseño
Bajo	20 años
Medio	25 años
Medio alto	30 años
Alto	30 años

B.9.4.2 Número mínimo de tanques

El número mínimo de tanques debe ser establecido de acuerdo con las siguientes disposiciones:

1. Para el **nivel bajo de complejidad**, en caso de justificarse almacenamiento según lo establecido en el numeral B.9.2.1, es suficiente que la red de distribución cuente con un solo tanque de compensación.
2. En los **niveles medio y medio alto de complejidad**, la red de distribución debe tener como mínimo un tanque de compensación.
3. En el nivel **alto de complejidad**, el número de tanques debe determinarse según los requerimientos de presión y almacenamiento previstos para la red de distribución. En todos los casos, la red de distribución debe tener como mínimo dos tanques o al menos uno con dos módulos o compartimentos

iguales que operen en forma independiente ante la posibilidad de que uno de ellos quede fuera de servicio y/o para facilitar las labores de mantenimiento y limpieza sin suspender el servicio.

B.9.4.3 Caudal de diseño

El tanque debe proveer el caudal máximo horario (QMH), teniendo en cuenta la variación del consumo que se entrega a la zona que está abasteciendo.

B.9.4.4 Capacidad de regulación

El tanque debe tener capacidad de compensar las variaciones entre el caudal de entrada de las plantas de tratamiento y el caudal de consumo en cada instante.

Para definir el volumen del tanque deben tenerse en cuenta las siguientes disposiciones:

1. Debe hacerse un análisis por métodos gráficos o analíticos, con base en curvas de demanda de cada población o zona abastecida y del régimen previsto de alimentación de los tanques. El volumen que va a ser almacenado será igual al volumen calculado multiplicado por un factor de 1.2.
2. En el **nivel bajo de complejidad**, si no existen datos que describan las curvas de variación del consumo horario, el volumen almacenado será igual a 1/3 del volumen distribuido a la zona que va a ser abastecida en el día de máximo consumo, garantizando en todo momento las presiones adecuadas.
3. En los **niveles medio y medio alto de complejidad**, en caso de preverse discontinuidad en la alimentación al tanque, el volumen de almacenamiento debe ser igual o mayor que 1/3 del volumen distribuido a la zona que va a ser abastecida en el día de máximo consumo, más el producto del caudal medio diario (Qmd) por el tiempo en que la alimentación permanecerá inoperante.
4. Para el **nivel alto de complejidad** el volumen de regulación debe ser ¼ del volumen presentado en el día de máximo consumo.

B.9.4.5 Capacidad para demanda contra incendio

El volumen destinado a la protección contra incendios será determinado considerando una duración de incendio de 2 horas, calculando el caudal de incendio con la ecuación

$$Q_{in} = \frac{3.86}{60} \sqrt{\frac{P}{1000}} \cdot \left(1 - 0.01 \sqrt{\frac{P}{1000}} \right) \quad (\text{B.9.1})$$

En el **nivel bajo de complejidad** no debe tenerse en cuenta la capacidad para demanda contra incendio.

B.9.4.6 Volumen del tanque

Para el **nivel bajo de complejidad**, el volumen del tanque debe ser igual al volumen de regulación, calculado en el literal B.9.4.4.

Para los niveles **medio, medio alto y alto de complejidad**, el volumen del tanque debe ser la mayor cantidad obtenida entre la Capacidad de regulación y la Capacidad para demanda contra incendio, establecidas en los literales B.9.4.4 y B.9.4.5 respectivamente.

En todos los casos debe dejarse un borde libre con el fin de permitir la ventilación. Se recomienda un borde de 0.30 m como mínimo.

En caso de que el volumen calculado del tanque implique costos elevados de bombeo, el volumen puede ser menor al calculado, siempre y cuando se justifique mediante un análisis técnico-económico aplicado al período de diseño y que considere ampliaciones futuras.

B.9.4.7 Materiales

El material del tanque debe resistir los empujes hidrostáticos, así como las fuerzas causadas por el empuje de tierra y de flotación, en el caso de tanques enterrados o semienterrados, cuando el tanque se encuentre desocupado.

Para el cálculo de las presiones y el diseño estructural del tanque, se debe cumplir lo establecido por la NSR - 98.

Los materiales con los que se construya el tanque deben ser impermeables y resistentes a la posible corrosión causada por el agua. Según el material, éste debe cumplir con las normas técnicas AWWA D100-96, AWWA D102-97, AWWA D103, AWWA D110-95, AWWA D120-84, AWWA D130-96 y otras aceptadas internacionalmente.

B.9.4.8 Presión en la tubería de alimentación

La presión en la tubería de entrada debe garantizar que el agua alcance el nivel máximo esperado más una altura de 5 metros cuando la alimentación del tanque sea por la parte inferior de éste.

B.9.4.9 Niveles

Los niveles máximos y mínimos del tanque deben ser fijados de tal manera que las presiones en la red de distribución se hallen dentro de los límites aceptables de servicio establecidos en el literal B.7.4.5 sobre presiones en la red de distribución.

Para los niveles máximos y mínimos establecidos en cada uno de los tanques de compensación, deben verificarse las presiones máximas y mínimas en la red de distribución, siguiendo con lo establecido en el literal B.7.4.9.2 sobre el cálculo hidráulico de la red.

En los casos en que el tanque funcione además como aliviador de presiones, debe calcularse la altura adicional sobre el nivel máximo, con el fin de aumentar el borde libre del tanque evitando rebose innecesario.

B.9.4.10 Tiempo y caudal de vaciado

El tiempo de vaciado del tanque calculado con la ecuación B.9.2 debe ser menor que 8 horas. Dicha ecuación es válida, para tanques con área superficial constante a lo largo de su altura

$$T = \frac{2 \cdot A \cdot \sqrt{h}}{m \cdot a \cdot \sqrt{2g}} \quad (\text{B.9.2})$$

El coeficiente m debe estar entre 0.50 y 0.60

El caudal máximo de salida agua durante el vaciado debe ser menor que el caudal máximo de entrada de aire en el sistema de ventilación.

El sistema de alcantarillado receptor del desagüe del tanque debe tener la capacidad suficiente para transportar el caudal producido en el vaciado del tanque.

B.9.4.11 Profundidad del fondo del tanque

Como criterio general, el fondo de los tanques enterrados o semienterrados debe estar 0.5 metros por encima del nivel freático máximo. Cuando no sea posible, deben considerarse los efectos de flotación para el diseño estructural y asegurar que no exista peligro de contaminación.

B.9.5 DISPOSITIVOS ANEXOS

B.9.5.1 Forma del tanque

No existe limitación en cuanto a la elección de la forma y ésta debe establecerse de acuerdo con los casos particulares y modalidades regionales. En cambio, se exige seguridad, durabilidad y el cumplimiento de las condiciones sanitarias requeridas para el agua potable. Todos los tanques deben tener cubierta.

La forma del tanque debe proporcionar máxima economía global en términos de cimentación, estructura, utilización del área donde el tanque será colocado, equipos de operación y control e integración entre unidades.

B.9.5.2 Entrada de agua al tanque

La entrada de agua al tanque debe cumplir con las siguientes disposiciones:

1. Debe colocarse de tal forma que permita la circulación y reduzca la posibilidad de zonas sin flujo en el tanque.
2. La entrada de agua debe ser dotada de un sistema de cierre manual o automático que pueda maniobrarse desde la parte externa del tanque. En caso de utilizar válvulas por flotador deben cumplirse las normas técnicas NTC 1901 y NTC 1991.
3. De ser posible, la entrada al tanque debe estar por la parte superior, especialmente cuando la alimentación se realice por bombeo.
4. Cuando la entrada al tanque pueda estar por encima del nivel del agua, debe amortiguarse el impacto de la caída del agua sobre el fondo del tanque cuando éste se encuentre vacío, para evitar la erosión del fondo.
5. Cuando la entrada se encuentre por debajo del nivel del agua, la tubería de alimentación debe estar dotada de un dispositivo de cierre, con el fin de impedir la pérdida de agua en caso de que ocurra una disminución de presión o falla en la tubería alimentadora.
6. Deben minimizarse las pérdidas de energía a la entrada del tanque.

B.9.5.3 Salida de agua del tanque

La salida de agua del tanque debe cumplir con las siguientes disposiciones:

1. La salida de agua del tanque debe ser independiente de la entrada y deben evitarse zonas sin flujo en el tanque.
2. De ser posible, la salida debe colocarse opuesta a la entrada. En caso de no ser posible, deben colocarse mamparas dentro del tanque para lograr un mayor tiempo de detención del agua en el tanque.
3. El diámetro de la tubería de salida depende del diámetro de la tubería matriz de distribución o de la tubería de conducción.
4. El sistema de salida debe minimizar las pérdidas de energía, evitando superar un valor de 0.50 m en la línea piezométrica.
5. Debe evitarse la formación de vórtices al operar el dispositivo de salida para cualquier nivel de agua dentro del tanque, desde el nivel máximo hasta el nivel mínimo. Para evitar la formación de vórtices se recomienda seguir las siguientes indicaciones:
 - a) Si la salida está situada en un plano horizontal, la altura de agua sobre la salida debe ser igual a 3 veces la mayor dimensión de la abertura.
 - b) Si la salida está situada en un plano inclinado formando un ángulo no mayor que 45° con respecto a la horizontal, la altura de agua medida al centro de la abertura, debe ser igual a 3 veces la mayor dimensión de la abertura.

- c) Si la salida está situada en un plano inclinado formando un ángulo mayor que 45° con respecto a la horizontal, la altura de agua medida desde la parte más alta de la abertura debe ser igual a 2 veces la mayor dimensión de la abertura.
6. La salida de agua debe ser dotada de un sistema de cierre manual o automático que pueda maniobrase desde la parte externa del tanque.
7. Después del sistema de cierre de salida debe existir un dispositivo que permita la entrada de aire en la tubería, cuando éste se cierre.

B.9.5.4 Rebose

Todo tanque de compensación debe tener un sistema de rebose, con el fin de evacuar los posibles caudales de exceso. El rebosadero debe estar dimensionado para evacuar el caudal máximo de entrada, cumpliendo con los siguientes requisitos:

1. El rebose debe descargar por medio de una tubería, vertedero o canal en una cámara independiente tan próxima al tanque como sea posible, y de allí debe ser evacuado a la tubería de limpieza de lavado.
2. En caso de utilizar tubería como rebose, ésta debe terminar en un tramo recto de longitud mayor o igual a 3.0 m. o a 3 veces su diámetro, medida a partir de su abertura al exterior.
3. La cámara de recolección del rebose debe tener una rejilla de 0.10 m en su parte superior con el fin de evitar la entrada de animales y basura a la cámara de rebose.
4. El rebose no debe limitar la capacidad de almacenamiento del tanque, asegurando que se obtenga el nivel máximo esperado en el tanque.
5. La cámara receptora de la tubería de rebose, debe estar dimensionada de tal forma que no ocurra rebose en ella.
6. Cuando se presenta rebose, el borde libre en las paredes del tanque debe ser de 0.10 m como mínimo, evitando cualquier presión sobre la tapa del tanque. Las paredes del tanque deben estar diseñadas para soportar esta carga adicional.

B.9.5.5 Control de nivel

El tanque debe estar provisto de un sistema indicador de nivel y de cierre en la entrada, que disminuya la posibilidad de rebose. El dispositivo de control de nivel no debe dañar la calidad del agua.

Para los niveles **bajo, medio y medio alto de complejidad**, el cierre de la entrada puede ser manual. Para el **nivel alto de complejidad**, el sistema de cierre debe ser automático, recomendando sistemas de telemetría conectados al controlador de nivel y alarma sonora en el centro de control. Pueden utilizarse válvulas accionadas por flotador según la norma NTC 1901.

B.9.5.6 Desagüe

Debe colocarse una tubería de desagüe sobre el fondo que permita el vaciado del tanque en el tiempo especificado en B.9.4.10.

El piso debe tener una ligera pendiente hacia la tubería de desagüe.

B.9.5.7 Medición de caudal

Para los **niveles de complejidad bajo y medio** deben colocarse totalizadores en la tubería de salida del tanque, que permitan determinar los volúmenes suministrados en forma diaria.

En el **nivel medio alto de complejidad** deben colocarse medidores totalizadores en la tubería de salida del tanque, que permitan determinar los volúmenes suministrados en forma diaria, así como las variaciones de los caudales, siendo recomendado un sistema de telemetría.

En el **nivel alto de complejidad** deben colocarse medidores totalizadores en la tubería de salida del tanque, que permitan determinar los volúmenes suministrados en forma diaria, así como las variaciones de

los caudales, siendo necesario un sistema de telemetría que permita conocer el caudal suministrado en cualquier instante.

B.9.5.8 Sistema de drenaje

Por debajo del fondo del tanque debe construirse un sistema de drenaje para captar las fugas que se presenten a través de su fondo y paredes y/o en tuberías de entrada y salida al tanque, descargando en una o más cámaras de recolección, donde sea posible visualizar la ocurrencia de fugas. En todo caso, debe cumplirse lo siguiente:

1. El sistema de drenaje debe ser subdividido en partes de tal forma que cada una tenga un área aferente máxima de 500 m^2 , descargando cada una en diferentes cámaras, con el fin de ubicar rápidamente la localización de fugas.
2. Los tubos de drenaje deben ser envueltos por una capa de grava de granulometría ascendente, desde el exterior hasta el interior.
3. En todo caso, debe evitarse que el agua procedente de las filtraciones ponga en peligro la cimentación de los tanques enterrados y semienterrados.
4. El sistema de drenaje del fondo debe ser independiente del sistema de drenaje del terreno establecido en el literal B.9.3.5.
5. El agua proveniente del sistema de drenaje debe ser evacuada y entregada a la tubería de limpieza y lavado del tanque.

B.9.6 OBRAS COMPLEMENTARIAS

B.9.6.1 Impermeabilización

Las paredes y el fondo deben ser impermeables y el material expuesto al agua debe ser resistente a los ataques químicos y a la corrosión.

B.9.6.2 Ventilación

Deben proveerse ductos de ventilación que permitan la entrada y salida de aire, con una malla de 5 mm para evitar la entrada de insectos; en caso de que éstos sean de PVC, debe usarse la norma técnica NTC 1260.

B.9.6.2.1 Caudal de aire

Los ductos de ventilación deben tener una capacidad igual al caudal máximo de entrada de agua o de salida por la tubería de desagüe, el que resulte mayor.

B.9.6.2.2 Forma de los ductos

En tanques pequeños, de volumen menor que 50 m^3 , se recomienda que los ductos sean tubos verticales con dos codos de 90° conectados con un niple de tal manera que formen una curva de 180° .

En tanques grandes se recomienda utilizar cámaras de ventilación, con orificios laterales debidamente protegidos.

B.9.6.3 Cubierta

Todo tanque debe contar con una cubierta, la cual debe ser impermeable, continua y opaca y tener una capa reflectiva de para evitar calentamiento interior.

Deben cumplirse las siguientes disposiciones:

1. Sobre la cubierta debe colocarse una capa adicional de algún impermeabilizante que se adhiera a ella.

2. La cubierta debe estar inclinada a una o dos aguas, con una pendiente no inferior al 2%, con el fin de evitar encharcamiento en su superficie.
3. Si sobre la cubierta se tiene previstos jardines, canchas deportivas o zonas de tránsito de peatones, la cubierta debe estar protegida con una capa de drenaje con escurrimiento natural, debidamente protegida. Esta condición debe tenerse en cuenta en el diseño estructural.

B.9.6.4 Acceso al interior

Cada tanque debe contar, por lo menos, con una tapa con cierre hermético para su inspección interior, ubicada sobre la cubierta, con una dimensión mínima de 0.6 m o igual a la que permita la entrada de equipos de mantenimiento.

Debe contarse con escaleras internas y externas de un material que no afecte la calidad del agua.

Es recomendable que el acceso se ubique encima de los equipos existentes en el tanque y cerca de las paredes.

El acceso debe sobresalir un mínimo de 0.05 m por encima de la cubierta.

Los accesos laterales, para el caso de los tanques metálicos, deben ser diseñados con cierre hermético.

B.9.6.5 Iluminación

No se permite la entrada de luz natural hacia el interior del tanque, salvo en las labores de observación, limpieza y mantenimiento.

En caso de ser necesaria iluminación artificial, ésta debe ser por medio de bombillos e instalaciones a prueba de humedad.

B.9.6.6 Señalización

Todo tanque elevado debe contar con luces de señalización de obstáculo elevado, para advertir su presencia a las aeronaves, y pintura acorde con las normas de la aeronáutica civil.

B.9.7 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA

B.9.7.1 Inspecciones preliminares

En la etapa de puesta en marcha deben realizarse las siguientes inspecciones en los diferentes elementos del tanque de compensación, antes de continuar con cualquier prueba:

1. En general, debe observarse el aspecto general del tanque en sus paredes, fondo, impermeabilización y obras anexas.
2. Debe verificarse el correcto funcionamiento de válvulas, accesorios en su apertura y cierre, controladores de nivel y totalizadores de caudal. Debe medirse el tiempo de accionamiento y corregir el mecanismo de cualquier accesorio que implique grandes esfuerzos para su operación.

B.9.7.2 Pruebas preliminares

Deben realizarse pruebas hidrostáticas y de operación en las condiciones normales y críticas, con el fin de detectar escapes o fallas estructurales o hidráulicas y tomar las medidas correctivas, antes de entregar el tanque a disposición del sistema de acueducto.

El encargado de realizar estas pruebas debe tomar registros de los datos de los cuales se exija medición y presentar un informe de la prueba ante la SSPD, el cual debe contener el resultado de los ensayos realizados y las condiciones anormales encontradas.

En caso de encontrar anomalías en el funcionamiento o condiciones de operación diferentes a las previstas en el diseño, deben tomarse las medidas correctivas que sean necesarias antes de colocar el tanque al servicio del sistema de acueducto.

En las pruebas preliminares debe cumplirse lo siguiente :

1. Debe llenarse el tanque hasta su nivel máximo, observando las posibles fugas a través de sus paredes o en la descarga del drenaje de fondo. Esta prueba debe hacerse sin el relleno lateral. Durante el tiempo de llenado deben verificarse las presiones a la entrada y la forma de las corrientes, prestando especial atención a la posible presencia de zonas de flujo muerto. El tanque debe permanecer lleno durante 12 horas.
2. En los niveles **bajo y medio de complejidad**, durante el vaciado se recomienda descargar el caudal máximo horario (QMH), observando la posible existencia de vórtices, en especial cuando el nivel esté cercano al mínimo.
3. En los niveles **medio alto y alto de complejidad**, durante el vaciado debe descargarse el caudal máximo horario (QMH), observando la posible existencia de vórtices, en especial cuando el nivel esté cercano al mínimo.
4. Debe verificarse la capacidad del rebosadero con el caudal máximo diario.
5. Debe verificarse la impermeabilidad y las exfiltraciones, según lo establecido en la norma AWWA D 130.

B.9.7.3 Desinfección de los tanques de almacenamiento

Antes de poner en servicio cualquier tanque de distribución, este debe ser desinfectado, debe tenerse en cuenta la norma NTC 4576 – Desinfección de Instalaciones de Almacenamiento de Agua Potable.

La desinfección debe ser hecha con compuestos clorados, llenando el tanque con una concentración de 50 p.p.m. de cloro en el agua y una duración mínima de 24 horas de contacto, al final de las cuales se debe proceder al drenaje total del agua de lavado al sistema de alcantarillado. Si el cloro residual libre del agua de lavado al final de las 24 horas es inferior a 0,4 mg/lit, se debe repetir la operación con 25 p.p.m.

B.9.8 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN

B.9.8.1 Verificación de presiones

1. Para el **nivel bajo de complejidad** deben medirse las presiones a la entrada y a la salida en horas de máximo consumo, una vez al mes.
2. Para el **nivel medio de complejidad** deben medirse las presiones a la entrada y a la salida en horas de máximo consumo, una vez por semana.
3. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad** deben medirse permanentemente las presiones a la entrada y a la salida en horas de máximo consumo, preferiblemente con sistemas de telemetría.

B.9.8.2 Control de filtraciones

En el caso de tanques de concreto reforzado superficiales o semi-enterrados susceptibles de filtraciones a través de las juntas de dilatación y construcción, las filtraciones no podrán superar el caudal de 1 litro/min por cada 5.000 m³ de agua almacenada.

1. Para los niveles **bajo y medio de complejidad**, debe realizarse una verificación de las filtraciones en las cámaras recolectoras de los drenajes de fondo, una vez cada seis meses.
2. Para los niveles **nivel medio alto y alto de complejidad**, debe realizarse una verificación de las filtraciones una vez cada tres meses.

B.9.8.3 Entrada de agua al tanque

1. Para el **nivel bajo de complejidad** debe cerrarse manualmente la entrada ante la situación de agua en exceso.
2. Para los niveles **medio y medio alto de complejidad** debe cerrarse manualmente la entrada ante la situación de agua en exceso. Se recomienda utilizar un sistema de alarma de rebose.
3. Para el **nivel alto de complejidad** debe cerrarse automáticamente la entrada ante la situación de agua en exceso. Se recomienda utilizar un sistema de alarma de rebose y la utilización de telemetría en los sistemas de control.

B.9.9 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO**B.9.9.1 Limpieza.**

Las labores de limpieza no deben afectar las presiones ni el caudal entregado en la red de distribución, ni influir en el servicio. Deben desinfectarse las paredes y el piso de acuerdo a los procedimientos indicados en la Norma Técnica Colombiana NTC 4576. Estas actividades debe realizarse por lo menos una vez al año.

1. Para los **nivel bajo y medio de complejidad** debe limpiarse completamente el tanque una vez cada año.
2. Para el **nivel medio alto y alto de complejidad** debe limpiarse completamente el tanque como mínimo una vez cada año. En caso que por su magnitud, dicho tanque sea estratégico para el servicio de acueducto, y su limpieza pueda causar trastornos a este, se recomienda efectuar un control permanente de los sedimentos depositados en el fondo así como el del cloro residual libre, para diferir este plazo de mantenimiento.

B.9.9.2 Impermeabilización

Cuando se detecten filtraciones mayores que las mínimas permisibles, según lo establecido en el numeral B.9.8.2, debe hacerse una impermeabilización de todo el tanque con productos autorizados por el Ministerio de Salud y que no afecten la salud pública ni la calidad del agua suministrada. Queda prohibido el uso de cualquier sustancia que contenga plomo para las labores de impermeabilización.

BIBLIOGRAFIA

- Aguas de Manizales, Normas de diseño y construcción de redes. Colombia, 1993.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Normas de abastecimiento de agua. Brasil, 1990
- Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico, Reglamento de normas de diseño. Puerto Rico, 1983.
- AWWA, Concrete Pressure Pipe. EE.UU. 1979.
- AWWA, Dual Water Systems. EE.UU. 1983.
- AWWA, Ground water. EE.UU.
- AWWA, Installation, field testing, and maintenance of fire hydrants. EE.UU.
- AWWA, PVC Pipe - Design and Installation. EE.UU, 1980.
- AWWA, Steel Pipe - A Guide for Design and Installation. EE.UU, 1987.
- Banco Mundial, II Seminario sobre abastecimiento de agua. "Indicadores Operativos". 1994.
- Empresa de Acueducto Y Alcantarillado del Atlántico, Normas para el diseño y construcción de redes locales y domiciliarias de acueducto y alcantarillado. Colombia, 1993.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, Normas de acueducto 04-Topografía para diseño de sistemas de acueducto. Colombia.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado De Bogotá, EAAB, Normas de acueducto 05-Procedimientos para diseño de conducciones y líneas expresas. Colombia.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, Normas de acueducto 06-Procedimiento para diseño de red matriz. Colombia.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, Normas de acueducto 08-Procedimiento para diseño de estaciones de bombeo. Colombia.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Normas de acueducto 09 -Procedimiento para diseño de redes menores. Colombia.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, Normas de Acueducto 10-Procedimiento para selección de válvulas y dispositivos de protección. Colombia.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, Procedimiento de diseño de tanques de compensación. Colombia.
- Empresas Municipales de Cali, Normas y especificaciones de construcción para el sistema de acueducto de la ciudad de Cali. Colombia, 1982.
- Empresas Públicas de Medellín, EPM, Normas de diseño-Acueducto, alcantarillado y vertimientos industriales. Colombia.
- Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Manual de normas de proyecto para obras de aprovisionamiento de agua potable en localidades urbanas de la república mexicana. México.
- Findeter, Guía para la elaboración y presentación de informes de evaluación técnica de proyectos de acueductos. Colombia, 1996.
- Ministerio de Obras Publicas y Transporte, Guías para presentación, diagnóstico y diseño de sistemas de acueducto. Colombia, 1977.
-

Ministerio de Desarrollo Humano-Bolivia, Norma técnica de diseño para sistemas de agua potable. Bolivia, 1996.

Ministerio de Desarrollo Humano-Bolivia, Reglamentos de presentación de proyectos. Bolivia, 1996.

Ministerio de Desarrollo Humano-Bolivia, Reglamentos técnicos de diseño para sistemas de agua potable. Bolivia, 1996.

Molano, Carlos, Aguas subterráneas. Universidad de los Andes. Colombia, 1992.

República de Colombia. Ley 142 de 1994 sobre servicios públicos domiciliarios.

República de Colombia. Ley 388 de 1997 sobre planes de ordenamiento territorial

República de Colombia. Ley 09 de 1979, código sanitario.

República de Colombia. Ley 99 de 1993 sobre el medio ambiente.

República de Colombia. Ley 373 de 1997 sobre uso eficiente y ahorro del agua.