



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA EN
CONSTRUCCIONES**

**“Guía de diseño con criterios de operación y mantenimiento
para captaciones, conducciones y redes de distribución de
agua potable, de la empresa ETAPA EP.”**

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de:
Ingeniero Civil con énfasis en Gerencia de Construcciones.**

Nombre del Autor:

EDWIN PAÚL URGILÉS MENDIETA.

DIRECTOR:

CARLOS JAVIER FERNÁNDEZ DE CÓRDOVA WEBSTER.

Cuenca, Ecuador

2019

Dedicatoria

A mis padres, Edgar y Marlene, que con su infinito amor, esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional, supieron guiarme a lo largo de mi vida enseñándome todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, y sobre todo la perseverancia para cumplir esta meta en mi vida por lo que les estaré eternamente agradecido.

A mis hermanos Adriana y Edgar, cuya compañía y amor me impulsaron a seguir adelante y no decaer ante las adversidades, en especial a mi hermano que al compartir la pasión por esta profesión supo guiarme con sus consejos y experiencias, que fueron los principales cimientos para la construcción de mi vida profesional, a esa persona especial mi enamorada Fernanda quien me acompañó en todo este arduo camino entregándome su apoyo incondicional y siempre estuvo presente en las dificultades ayudándome a culminar este proyecto con éxito.

A mis compañeros y amigos con quienes siempre compartiremos todos esos gratos recuerdos de alegrías y tristezas de nuestra vida universitaria, y a todas aquellas personas que estuvieron a mi lado apoyándome y haciendo que este sueño se haga realidad.

Agradecimiento.

Agradezco a mi director de tesis Ing. Carlos Javier Fernández de Córdova Webster, por haber dedicado parte de su tiempo valioso al presente trabajo de grado, por lo que siempre le estaré inmensamente agradecido.

Un agradecimiento muy especial para los miembros que conforman nuestro tribunal Ing. Josué Bernardo Larriva e Ing. María Belén Arévalo.

A la Universidad del Azuay y sus docentes quienes les debemos nuestros conocimientos, y los cimientos de nuestra vida profesional gracias por su paciencia y sus enseñanzas.

A la empresa ETAPA EP y la comisión técnica conformada para el desarrollo de este proyecto a quien les estaré inmensamente agradecido por brindarme parte de su tiempo y su valioso conocimiento para concluir este trabajo de titulación de forma exitosa.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de Contenidos	iv
Índice de Figuras	xii
Índice de Tablas	xiii
Resumen	xv
ABSTRACT	xvi
PARTICIPANTES	xvii
ABREVIATURAS	xix
NORMAS TECNICAS REFERNCIADAS	xix
Introducción	1
Antecedentes	2
Problemática.....	2
Justificación.....	3
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos	4
Alcances y resultados esperados	¡Error! Marcador no definido.
CAPITULO I.....	5
1. CAPTACIONES DE AGUAS SUPERFICIALES.....	5
1.1 ALCANCE.....	5
1.2 ESTUDIOS PREVIOS.....	5
1.2.1 Concepción del proyecto	5
1.2.2 Seguridad Funcional.....	6
1.2.3 Seguridad Contra Contaminación.....	7
1.2.4 Seguridad de Ubicación.....	7
1.2.5 Seguridad Estructural.	7
1.2.6 Seguridad Contra Inundaciones.....	7
1.2.7 Macromedición.....	8
1.2.8 Justificación del uso de la fuente.....	8
1.3 CONDICIONES GENERALES	8
1.3.1 Tipos de captaciones.....	8
1.3.1.1 Captaciones con azudes de derivación.....	8

1.3.1.2 Tomas laterales	9
1.3.1.3 Captación mixta	10
1.3.1.4 Toma de rejilla	10
1.3.1.5 Cámara de toma directa	11
1.3.2 Ubicación de la captación.....	11
1.3.3 Seguridad de la captación.....	12
1.3.4 Estabilidad.....	13
1.3.5 Facilidad de operación y mantenimiento.....	13
1.3.6 Lejanía de toda fuente de contaminación.	13
1.3.7 Aprovechamiento de la infraestructura existente.	14
1.3.8 Desviación de cursos.	14
1.3.9 Accesos.....	14
1.3.10 Cerramientos.	14
1.3.11 Vulnerabilidad y confiabilidad.....	14
1.4 PARÁMETROS DE DISEÑO.....	14
1.4.1 Período de diseño.	14
1.4.1.1 Niveles de complejidad.....	15
1.4.2 Capacidad de diseño.....	16
1.4.3 Canales de conducción.	16
1.4.3.1 Método de cálculo.....	16
1.4.3.2 Velocidades máximas.	16
1.4.3.3 Velocidades mínimas en canales de aducción.	16
1.4.3.4 Forma de la sección transversal.	16
1.4.4 Medición de caudales en captaciones.....	17
1.4.4.1 Criterios para el diseño de las estaciones de medición de caudales.	18
1.4.5 Rejillas.....	20
1.4.5.1 Elementos de diseño.	20
1.4.5.2 Inclinación de las rejillas.	20
1.4.5.3 Separación entre barrotes.....	21
1.4.5.4 Ancho de la rejilla.....	21
1.4.5.5 Velocidad del flujo en la rejilla.....	21
1.4.5.6 Criterio de diseño para las estructuras de captación.	21
1.4.5.7 Coeficiente de pérdidas menores de la rejilla.	22
1.4.6 Desarenadores	23
1.4.6.1 Ubicación.....	23

1.4.6.2 Capacidad hidráulica.....	23
1.4.6.3 Velocidad de sedimentación.	24
1.4.6.4 Dimensionamiento.	24
1.4.6.5 Influencia de los procesos de tratamiento posterior al desarenador.....	25
1.4.6.6 Accesorios y dispositivos.....	25
1.4.6.7 Desarenadores con niveles variables	26
1.4.6.8 Desarenadores con remoción manual	26
1.5 MEMORIA TÉCNICA	26
1.5.1 Aspectos de la puesta en marcha.	26
1.5.2 Aspectos de la operación.	26
1.5.3 Aspectos del mantenimiento.....	27
CAPITULO II	28
2. CONDUCCIONES	28
2.1 ALCANCE.....	28
2.2 ESTUDIOS PREVIOS.....	29
2.2.1 Concepción del Proyecto.....	29
2.2.2 Infraestructura existente	29
2.2.3 Aspectos generales de la zona de la conducción.....	29
2.2.4 Estudios topográficos	30
2.2.5 Condiciones geológicas	31
2.2.6 Cuerpos receptores de aguas de lavado de la red	31
2.2.7 Estudio de suelos	31
2.2.8 Interferencia con otras redes y corrientes eléctricas.....	32
2.3 CONDICIONES GENERALES	32
2.3.1 Recomendaciones de trazado	32
2.3.1.1 Recomendaciones generales	32
2.3.1.2 Recomendaciones específicas.....	33
2.3.2 Facilidad de acceso a cajas de válvulas y accesorios	34
2.3.3 Protección contra la contaminación.....	34
2.3.4 Vulnerabilidad y confiabilidad de la línea de conducción	34
2.3.5 Control de crecimiento y desprendimiento de biopelículas.	36
2.4 PARÁMETROS DE DISEÑO	36
2.4.1 Período de diseño	36
2.4.2 Caudal de diseño	37
2.4.3 Requisitos de tuberías.....	40

2.4.4	Materiales para las tuberías de conducción.....	41
2.4.4.1	Tablas para tubería en hierro dúctil según norma iso2531:2009.....	44
2.4.4.2	Tablas para tubos de polietileno para conducción de agua a presión.	45
2.4.4.3	Tabla para tuberías plásticas tubos y accesorios de PVC rígido para presión.....	49
2.4.5	Especificaciones y control de calidad de tuberías para conducciones	50
2.4.6	Presiones en la red de conducciones	50
2.4.7	Diámetros de tuberías en la red de conducciones.....	51
2.4.8	Velocidades en las tuberías de conducción	51
2.4.9	Pendientes de las tuberías de conducción.....	52
2.4.10	Profundidad de instalación de las tuberías a cota clave	52
2.5	DISEÑO DE LAS CONDUCCIONES	53
2.5.1	Cálculo hidráulico de tuberías simples.....	53
2.5.1.1	Cálculo de las pérdidas por fricción	53
2.5.1.2	Cálculo de las pérdidas menores.....	56
2.5.2	Corrosión en tuberías.....	57
2.5.3	Recubrimientos y protección de Tuberías	58
2.5.3.1	Recubrimientos externos.....	58
2.5.3.2	Recubrimientos internos	59
2.5.4	Accesorios y estructuras para las tuberías de conducción.....	59
2.5.4.1	Aspectos generales.....	59
2.5.4.2	Válvulas de interrupción del servicio o de corte, por tramos.	60
2.5.4.3	Válvulas de purga de aire o ventosas.....	61
2.5.4.4	Válvulas de vaciado.	65
2.5.4.5	Válvulas anti reflujo.....	66
2.5.4.6	Válvulas de protección contra golpe de ariete	66
2.5.4.7	Válvulas de flujo o paso anular.....	67
2.5.4.8	Válvulas de cono o chorro hueco.....	67
2.5.4.9	Cámaras rompe presión.	68
2.5.4.10	Materiales para las válvulas.....	68
2.5.4.11	Bocas de acceso	69
2.5.4.12	Estación para medición de caudal.....	69
2.5.4.13	Apoyos y anclajes.	69
2.5.4.14	Juntas móviles.....	75
2.5.4.15	Codos, tees, reducciones y otros accesorios en conducciones.....	76

2.5.4.16 Uniones de reparación y otros accesorios en conducciones	77
2.5.5 Estructuras complementarias para conducciones	79
2.5.5.1 Cajas para válvulas	79
2.5.5.2 Estaciones reguladoras de presión	79
2.5.5.3 Estructuras especiales para protección de tuberías	80
2.5.6 Comprobación del diseño de las conducciones bajo diferentes condiciones de operación	81
2.5.7 Protocolo de pruebas dado por el diseñador	82
2.6 OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO	82
2.6.1 Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos	82
2.7 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA DE LA CONDUCCIÓN	83
2.7.1 Pruebas hidrostáticas	83
2.7.2 Medición de caudales	83
2.7.3 Línea piezométrica de la conducción	84
2.7.4 Desinfección de la conducción	84
2.7.5 Golpe de Ariete	85
2.7.6 Accesorios y Válvulas	86
2.7.7 Válvulas de lavado y Vaciado	86
2.7.8 Válvulas de purga de aire y Ventosas	86
2.8 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN DE LA CONDUCCIÓN	86
2.8.1 Golpe de Ariete	86
2.8.2 Línea Piezométrica	87
2.8.3 Instrumentación y telemetría en las conducciones	87
2.8.4 Reglas de operación para evitar desprendimientos de biopelículas y re suspensión de depósitos inorgánicos	88
2.8.5 Lavado de las tuberías de conducción	88
2.8.6 Uso de tecnologías de información para la operación de conducciones	89
2.9 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO DE LAS CONDUCCIONES	89
2.10 Análisis del golpe de ariete	90
2.10.1 Condiciones para el cálculo del golpe de ariete	91
2.10.2 Presiones máximas y esfuerzos a ser absorbidos	92
2.10.3 Presiones mínimas	93
2.10.4 Celeridad de la onda de presión	94
2.10.5 Período del golpe de ariete	95
2.10.6 Métodos de cálculo de golpe de ariete en sistemas por bombeo	95
2.10.7 Métodos de cálculo del golpe de ariete en conducciones por gravedad	96

2.10.8 Alternativas de reducción de la variación de presión en los transitorios. (CONAGUA, 2016)	97
2.11 ANALISIS DE RIESGO DE CADA PROYECTO	98
CAPITULO III	101
3. REDES DE DISTRIBUCION.	101
3.1 ALCANCE.	101
3.2 ESTUDIOS PREVIOS	101
3.2.1 Concepción del proyecto	101
3.2.2 Infraestructura existente	103
3.2.3 Aspectos generales de la zona de la red de distribución	103
3.2.4 Estudios topográficos	104
3.2.5 Condiciones geológicas	104
3.2.6 Estudio de suelos	105
3.2.7 Interferencia con otras redes y corrientes eléctricas	105
3.3 CONDICIONES GENERALES PARA LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN ...	105
3.3.1 Recomendaciones sobre el trazado de la red de distribución	105
3.3.1.1 Recomendaciones generales	105
3.3.1.2 Recomendaciones específicas	106
3.3.1.3 Recomendaciones para evitar puntos muertos en la red	107
3.3.2 Capacidad de la red	108
3.3.3 Topología de la red de distribución	109
3.3.4 Facilidad de acceso	109
3.3.5 Protección contra la contaminación	109
3.3.6 Vulnerabilidad de la red de distribución	110
3.4 PARÁMETROS DE DISEÑO	110
3.4.1 Período de diseño	110
3.4.2 Caudal de diseño	111
3.4.3 Deflexión de las tuberías de la red de distribución	115
3.4.4 Materiales para las tuberías de la red de distribución	115
3.4.5 Presiones en la red de distribución	117
Para el diseño de las redes de distribución se debe tener en cuenta los siguientes puntos:	117
3.4.6 Diámetros de las tuberías en la red de distribución	118
3.4.7 Velocidades en las tuberías de la red de distribución	118
3.4.8 Profundidad de instalación de las tuberías a la cota clave	118
3.5 DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN	119

3.5.1 Cálculo de caudales por nudo.....	120
3.5.2 Cálculo hidráulico de tuberías simples.....	121
3.5.2.1 Cálculo de las pérdidas por fricción	121
3.5.2.2 Cálculo de las pérdidas menores.....	124
3.5.3 Recubrimiento y protección de tuberías	125
3.5.3.1 Recubrimientos externos.....	125
3.5.3.2 Recubrimientos internos	125
3.5.4 Golpe de ariete en las redes de distribución	126
3.5.4.1 Análisis de golpe de ariete	126
3.5.4.2 Condiciones para el cálculo de golpe de ariete.....	127
3.5.5 Análisis de puntos muertos en la red de distribución.....	127
3.5.6 Comprobación de diseño bajo diferentes condiciones de operación.....	128
3.5.7 Protocolo de pruebas dada por el diseñador	129
3.6 OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO	129
3.6.1 Catastros de las tuberías de la red de distribución.....	129
3.6.2 Análisis de interferencias	129
3.6.3 Instalación de las tuberías.....	130
3.6.4 Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos	130
3.7 ACCESORIOS PARA LAS TUBERÍAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN. 131	
3.7.1 Aspectos generales	131
3.7.2 Válvulas.....	131
3.7.2.1 Consideraciones generales para las válvulas	131
3.7.2.2 Válvulas de seccionamiento.....	133
3.7.2.3 Válvulas de control.	133
3.7.2.4 Válvulas reguladoras de presión	136
3.7.2.5 válvulas anti-retorno	136
3.7.2.6 Válvulas de alivio	137
3.7.2.7 Cajas de las válvulas	137
3.7.3 Apoyos de las tuberías.....	138
3.7.4 Macromedidores	138
3.7.5 Manómetros.....	139
3.7.6 Hidrantes	141
3.7.6.1 Aspectos generales de los hidrantes.....	141
3.7.6.2 Capacidad hidráulica de los hidrantes	141
3.7.6.3 Localización de los hidrantes.....	141

3.7.6.4 Presión en los hidrantes	142
3.7.6.5 Instalación y anclaje de los hidrantes	142
3.7.7 Estructuras complementarias para las redes de distribución	142
3.7.7.1 Anclajes	142
3.7.7.2 Estructuras especiales para protección de tuberías	144
3.8 ASPECTOS A CONSIDERAR EN LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	144
3.8.1 Presiones en la red de distribución	145
3.8.1.1 Pruebas hidrostáticas.....	145
3.8.1.2 Presiones dinámicas y alturas piezométricas	145
3.8.2 Desinfección de la red de distribución	145
3.8.3 Golpe de ariete.....	146
3.8.4 Hidrantes	146
3.8.5 Macromedidores	147
3.9 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN	147
Conclusiones	148
Recomendaciones.....	150
Bibliografía	151

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. 1: Ubicación de la toma en tramos curvos.....	12
Figura 1. 2: Diferentes formas de barrotes de rejillas.....	22
Figura 2. 1: KMH en la área urbana promedio de los tanques Cristo rey, Miraflores y Turi.....	39
Figura 2. 2: KMH en la área periurbana promedio de los tanques Calderón, Rayo loma y Trinidad.....	40
Figura 2. 3: Tubería de hierro dúctil.....	44
Figura 2. 4: Brida sujeción para tuberías de PVC utilizado con empalmes mecánicos / accesorios de presión.....	71
Figura 2. 5: Brida de sujeción para juntas de campana de PVC.....	71
Figura 2. 6: Brida de sujeción para accesorios de presión de PVC.....	72
Figura 2. 7: Brida de sujeción para juntas de campana de PVC.....	72
Figura 2. 8: Brida de accionamiento de cuña, casquillo de sujeción, junta de sujeción para tubo de hierro dúctil.....	74
Figura 2. 9: Brida de Limitación de acción de cuña para juntas de empuje de tubería de hierro dúctil (Solo para nuevas instalaciones).....	75
Figura 2. 10: Uniones para tuberías y accesorios de hierro dúctil bajo norma ISO 2531.....	77
Figura 2. 11: Uniones de tres partes baja norma ISO 2531.....	78
Figura 2. 12: Uniones con juntas elastoméricas.....	79
Figura 3. 1: KMH en la área urbana promedio de los tanques Cristo rey, Miraflores y Turi.....	114
Figura 3. 2: KMH en la área periurbana promedio de los tanques Calderón, Rayo loma y Trinidad.....	114
Figura 3. 3: Manómetro.....	139
Figura 3. 4: Capacidad Máxima del Manómetro.....	140
Figura 3. 5: Tipos de anclaje según diferentes tipos de unión.....	143

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. 1: Precisión esperada en la instrumentación.	19
Tabla 1. 2: Coeficiente de pérdida para rejillas.....	22
Tabla 2.1: Tiempos para reparación de tuberías.	35
Tabla 2.2: Vulnerabilidad de las tuberías de conducción frente a la deformación del suelo.	35
Tabla 2. 3: Dotaciones Netas y Brutas promedios para la zona: Urbana, Consolidada y Especial.	38
Tabla 2. 4: Dotaciones Netas y Brutas promedios para la zona: Periurbana	38
Tabla 2. 5: Dotaciones Netas y Brutas promedios para la zona: Rural.....	38
Tabla 2. 6: Caudales de Diseños Adoptados.....	40
Tabla 2. 7: Especificaciones y normas técnicas sobre tuberías.....	43
Tabla 2. 8: Dimensiones (clases de presión preferidas).....	44
Tabla 2. 9: Presiones admisibles según su clase.	45
Tabla 2. 10: Tubo de PE 100 con esfuerzo hidrostático de diseño σ_s de 8,0 MPa. ..	45
Tabla 2. 11: Tubos de PE 80 con esfuerzo hidrostático de diseño σ_s de 6,3 MPa....	46
Tabla 2. 12: Tubos de PE 63 con esfuerzo hidrostático de diseño σ_s de 5,0 MPa....	47
Tabla 2. 13: Tubos de PE 40 con esfuerzo hidrostático de diseño σ_s de 3,2 MPa....	48
Tabla 2. 14: Tubos de PE 32 con esfuerzo hidrostática de diseño σ_s de 2,5 MPa....	48
Tabla 2. 15: Espesores Nominales Tuberías de PVC (Dimensiones en milímetros). 49	
Tabla 2. 16: Coeficientes de Chw para la fórmula de Hazen – Williams	54
Tabla 2. 17: Densidad y viscosidad del agua según la temperatura	55
Tabla 2. 18: Coeficiente k de rugosidad.....	56
Tabla 2. 19: Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes.	57
Tabla 2. 20: Serie Galvánica.	58
Tabla 2. 21: Normas para Recubrimientos externos.	58
Tabla 2. 22: Normas para Recubrimientos internos.....	59
Tabla 2. 23: Normas Técnicas para las válvulas de corte y vaciado.....	61
Tabla 2. 24: Relación entre el caudal de agua en la tubería y la capacidad del purgador de aire simple	62
Tabla 2. 25: Dimensiones de válvulas de aire simple, en relación con el diámetro nominal de la tubería, en la cual va instalada.....	63
Tabla 2. 26: Dimensiones de válvulas de aire combinado y triple acción, determinados en relación con el diámetro nominal de la tubería, en la cual va instalada.....	64
Tabla 2. 27: Normas Técnicas de los accesorios según el material.	76
Tabla 2. 28: Presión de vapor del agua	94
Tabla 2. 29: Módulo de elasticidad y coeficientes de Poisson para materiales de tuberías.	95
Tabla 2. 30: Matriz de Riesgo.	100
Tabla 2. 31: Probabilidad de Ocurrencia.	100
Tabla 3. 1: Vulnerabilidad de las tuberías de la red frente a la deformación del suelo.	110
Tabla 3. 2: Dotaciones Netas y Brutas promedios para la zona: Urbana, Consolidada y Especial.	112
Tabla 3. 3: Dotaciones Netas y Brutas promedios para la zona: Periurbana	112

Tabla 3. 4: Dotaciones Netas y Brutas promedios para la zona: Rural.....	113
Tabla 3. 5: Especificaciones y normas técnicas sobre tuberías.....	117
Tabla 3. 6: Presiones mínimas en las áreas urbana, periurbana y rural.	117
Tabla 3. 7: Coeficientes de Chw para la fórmula de Hazen – Williams	121
Tabla 3. 8: Densidad y viscosidad del agua según la temperatura.....	123
Tabla 3. 9: Coeficiente k de rugosidad.....	124
Tabla 3. 10: Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes.....	124
Tabla 3. 11: Normas para Recubrimientos externos.....	125
Tabla 3. 12: Normas para Recubrimientos internos.....	126
Tabla 3. 13: Relación entre el caudal de agua en la tubería y la capacidad del purgador de aire simple.....	134
Tabla 3. 14: Dimensiones de válvulas de aire simple, en relación con el diámetro nominal de la tubería, en la cual va instalada.....	134
Tabla 3. 15: Dimensiones de válvulas de aire combinado y triple acción, determinados en relación con el diámetro nominal de la tubería, en la cual va instalada.....	135
Tabla 3. 16: Características Generales de Manómetros.....	140
Tabla 3. 17: Caudales necesarios contra incendios en función de los hidrantes.....	141
Tabla 3. 18: Volumen de los bloques de anclaje. (m ³).....	143
Tabla 3. 19: Área efectiva para bloques de anclaje. (m ²).....	144
Tabla 3. 20: Accesorios Verticales.....	144

“Guía de diseño con criterios de operación y mantenimiento para captaciones, conducciones y redes de distribución de agua potable, de la empresa ETAPA EP.”

RESUMEN

En el presente trabajo se elaboró la guía de diseño de captaciones, conducciones y redes de distribución para ETAPA EP en donde se establecieron los aspectos específicos y requisitos mínimos que debe cumplir el diseño de sistemas de agua potable, recopilando la información necesaria de normas nacionales e internacionales, e incluyendo criterios importantes de operación y mantenimiento de acuerdo a la realidad de la ciudad de Cuenca, para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de agua. También, se han incorporado algunos parámetros y datos para el diseño de conducciones y redes de agua potable que son propios de la zona obtenidos en base a la información del funcionamiento de los sistemas recopilada durante varios años en la empresa ETAPA EP.

Palabras clave: Guía de diseño, criterios de operación y mantenimiento, captaciones, conducciones, redes de distribución.



Ing. Javier Fernández de Córdova W. M.Sc

Director del Trabajo de Titulación



Ing. José Fernando Vázquez C. M.Sc

Director de la Escuela



Edwin Paúl Urgilés Mendieta

Autor

“Design guide with operation and maintenance criteria for catchments, pipelines and drinking water distribution networks of the ETAPA EP company.”

ABSTRACT

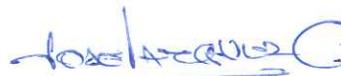
In this work, the design guide for catchments, pipelines and distribution networks for ETAPA EP was elaborated. The specific aspects and minimum requirements that the design for drinking water systems must meet were established. The necessary information of national and international standards was compiled and important criteria of operation and maintenance were included according to the reality of Cuenca to guarantee the correct functioning of the water system. Also, some parameters and data were incorporated for the design of drinking water pipes and networks that were specific to the area and were obtained based on the operating information of the systems collected over several years by the ETAPA EP company.

Keywords: Design guide, operation and maintenance criteria, catchments, pipelines, distribution networks.



Ing. Javier Fernández de Córdova W. M.Sc

Thesis Director



Ing. José Fernando Vázquez C. M.Sc

Faculty Director



Edwin Paúl Urgilés Mendieta

Author



Translated by

Ing. Paúl Arpi

PARTICIPANTES

Con la finalidad de obtener los criterios de operación y mantenimiento que pueden influenciar en los sistemas hidráulicos de la ciudad, ETAPA-EP creó el Comité Técnico cuyo objetivo es el de modificar, complementar, y/o aprobar el contenido de ésta guía de diseño, conformando el siguiente equipo de trabajo:

1) Por parte de la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca. (ETAPA EP)

Ing. Boris Piedra I.

Gerente General de ETAPA EP

Ing. Paúl Calle O.

Gerente de Agua Potable y Saneamiento

Ing. Nancy Abril G.

Subgerente de Operaciones de Agua Potable y Saneamiento

Ing. Jason Espinoza G.

Subgerente de Desarrollo de Infraestructura

COMITÉ TÉCNICO:

Ing. Fausto Sarmiento L.

Administrador Departamento de Agua Potable.

Ing. Josué Larriva V

Administrador Departamento de Control de Operaciones.

Ing. Felipe Ordoñez M.

Supervisor de Proyectos.

Ing. Vinicio Andrade O.

Ingeniero de Proyectos.

Ing. Javier Fernández de Córdova W.

Ingeniero de Gestión de Riesgos.

Ing. Francisco Ochoa B.

Ingeniero de Aseguramiento de Ingreso de Agua Potable y Saneamiento.

2) Por parte de la Universidad del Azuay.

Edwin Paúl Urgilés Mendieta

**Estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones de la
Facultad de Ciencia y Tecnología.**

ABREVIATURAS

INEN.	Instituto Ecuatoriano de Normalización.
ETAPA-EP.	Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca.
EMAAP-Q.	Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito.
EPM.	Empresas Públicas de Medellín.
MinDesarrollo.	República de Colombia-Ministerio de Desarrollo Económico.
ISO.	International Organization for Standardization.
AWWA.	American Water Work on Standard.
ASTM.	American Society for Testing and Materials.
SENAGUA.	Secretaria Nacional del Agua.

NORMAS TECNICAS REFERENCIADAS**Normas Técnicas Nacionales.**

CPE INEN 5 Parte 9-1:1992	Código Ecuatoriano de la Construcción. C.E.C. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.
NTE INEN 1744	Tubos de polietileno para conducción de agua a presión. Requisitos
NTE INEN 1373	Tubería plástica. Tubería de PVC rígido para presión. Requisitos.
01-AP-EMAAPQ-2008	Normas de diseño de sistemas de agua potable para la EMAAP-Q.

Plan Maestro Cuenca.

PLAN MAESTRO 1984 ETAPA	Planes Maestros de Agua Potable y Alcantarillado del Área Metropolitana de la Ciudad de Cuenca.
PLAN MAESTRO II ETAPA	Diseños Definitivos de los Sistemas de Agua Potable Machangara Norte y Machangara Sur, Conducciones Tixán – El Cebollar y Presedimentadores – El Cebollar.

Normas Técnicas Internacionales.**Normas Técnicas Colombianas.**

EPM	Empresas Públicas de Medellín – Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto.
RAS - 2000	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - Sección ii – Título b – Sistemas de Acueducto.

Normas Técnicas ISO.

ISO 2230	Elastomeros Vulcanizados - Condiciones de Almacenamiento
ISO 2531	Tubos y Accesorios de Fundición Dúctil para Canalizaciones a Presión.
ISO 4065	Thermoplastics pipes – Universal Wall thickness table.
ISO 4427	Plastics Piping Systems. Polyethylene (PE) pipes and fittings for water supply.
ISO 4633	Juntas de Estanqueidad de Caucho - Guarniciones de Juntas de Canalizaciones de Alimentación y Evacuación de Aguas (Alcantarilados Incluidos - Especificación de Materiales)
ISO 3606	Unplastitized polyvinyl chloride (PVC) pipes – Tolerances on outside diameters and Wall thicknesses.
ISO 161-1	Thermoplastics pipes for the conveyance of fluids – Nominal outside diameters and nominal pressures – Part 1.
ISO 8179-2	Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints – External zinc – based coating – Part 2: Zinc-rich Paint.
ISO 7005-2	Metallic flanges – Part 2: Cast iron flanges.

Normas Técnicas AWWA.

AWWA C 104	Cement Mortar Lining for Ductile Iron Pipe and Fittings for Water.
AWWA C 105	Polyethylene Encasement for Ductile Iron Pipe Systems.
AWWA C 111	Rubber Gasket Joints for Ductile Iron Pressure Pipe & Fittings.
AWWA C 115	Flanged Ductile Iron Pipe with Ductile Iron or Gray Iron Threaded Flanges.
AWWA C 116	Protective Fusion-Bonded Epoxy Coatings for the Interior and Exterior Surfaces of Ductile-Iron and Gray-Iron Fittings for Water Supply Service.
AWWA C 153	Ductile Iron Compact Fitting 3in thru 24in for Water Service.
AWWA C 207	Steel Pipe Flanges for Waterworks Service.
AWWA C 303	Concrete Pressure Pipe, Bar Wrapped Steel Cylinder Type.
AWWA C 504	Rubber Seated Butterfly Valves.
AWWA C 507	Ball Valves, 6 In. Through 48 In. (150 mm Through 1,200 mm).
AWWA C 508	Swing Check Valves for Water Works Service.
AWWA C 510	Double Check Valve Backflow Prevention Assembly.
AWWA C 512	Air Release, Air Vacuum & Combination Air Valves for Waterworks Service.
AWWA C 550	Protective Epoxy Interior Coatings for Valves & Hydrants.
AWWA C 651	Disinfecting Water Mains
AWWA D 104	Automatically Controlled, Impressed-Current Cathodic Protection for the Interior of Steel Water Tanks.
AWWA M27	External corrosion-introduction to chemistry and control.
AWWA M41	Ductile-Iron Pipe Fittings.

Normas Técnicas ASTM.

ASTM D 2466	Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Pipe Fittings, Schedule 40.
ASTM D 2609	Standard Specification for Plastic Insert Fittings for Polyethylene (PE) Plastic Pipe.
ASTM D 2683	Standard Specification for Socket-Type Polyethylene Fittings for Outside Diameter-Controlled Polyethylene Pipe and Tubing.
ASTM D 3261	Standard Specification for Butt Heat Fusion Polyethylene (PE) Plastic Fittings for Polyethylene (PE) Plastic Pipe and Tubing.
ASTM D 3139	Joints for Plastic Pressure Pipes Using Flexible Elastomeric Seals.
ASTM F 477	Standard Specification for Elastomeric Seals (Gaskets) for Joining Plastic Pipe.
ASTM A 536	Standard Specification for Ductile Iron Castings.

Guía de diseño con criterios de operación y mantenimiento para captaciones, conducciones y redes de distribución de agua potable, de la empresa ETAPA EP.

Introducción

En la aplicación de la ingeniería civil en los proyectos y obras de cualquier índole existe una normativa definida que regula el diseño y construcción de las mismas.

La Universidad de Barcelona (1998), en su página virtual describe las normas como un modelo, regla o criterio a seguir. Una norma es una fórmula que tiene valor predeterminado y por ende su finalidad es definir las características que debe poseer un objeto, así como definirá los productos que han de tener compatibilidad para ser usados a nivel internacional.

Entonces surge el concepto de norma técnica que según el portal web de la Universidad de Alcalá (2018) lo define como un documento certificado por un organismo registrado que establece especificaciones técnicas fundamentadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico, que hay que cumplir en determinados productos, procesos, servicios u obras. Este es el caso de la infraestructura hidráulica que formará parte de esta investigación, dicha infraestructura está determinada por normas que tienen como propósito conseguir que los diseños de sistemas de abastecimiento de agua potable se realicen dentro de un marco técnico adecuado que deben velar por la salud de los ciudadanos. (Universidad de Alcalá UAH, 2018)

En el caso ecuatoriano se puede citar la Norma CPE INEN 5 (9-1:1992), que presenta los criterios de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable y de eliminación de aguas residuales las cuales representan una actualización de los criterios de diseño utilizados tradicionalmente en el Ecuador.

Debido a que las normas de agua vigentes en el país solamente abordan el diseño de sistemas y no tienen en cuenta criterios importantes de la operación y mantenimiento, los cuales influyen notablemente en el funcionamiento de los sistemas afectando el servicio que se entrega a la población, surge la necesidad del presente proyecto, cuyo objetivo consiste en elaborar la guía de diseño para captaciones, conducciones y redes de distribución, estableciendo aspectos específicos y requisitos mínimos que debe cumplir el diseño de estos componentes de los sistemas de agua potable para garantizar

su operación y mantenimiento. El resto de elementos que puede contener un sistema de agua potable, como: fuentes de agua cruda, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, tanques de reserva, entre otros, serán abordados a futuro con nuevos trabajos similares a esta tesis.

Antecedentes

Los diseños de los diferentes sistemas hidráulicos que realiza la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca – ETAPA -EP están basados en normas nacionales que tienen criterios muy generales del territorio nacional y en muchos casos no se ajustan a la realidad de la ciudad, provocando que el diseñador no considere criterios muy importantes que posteriormente pueden traer problemas a corto, mediano y largo plazo, tales como, daños en los elementos de los sistemas de agua, demoras excesivas en las reparaciones, afectación en la calidad de agua, entre otros, causando pérdidas económicas a la empresa. En este trabajo se pretende elaborar una guía de diseño recopilando toda la información necesaria de la norma ecuatoriana INEN, norma EMAPS de la Empresa Metropolitana de Quito, el Plan Maestro de Cuenca y la norma colombiana EPM, además de otras normas internacionales aprobadas, como: AWWA, ASTM, DIN, ISO. La recopilación tiene como objetivo identificar los criterios de mayor importancia para añadir a esta guía de diseño, ayudando a la empresa para que la operación y mantenimiento de los proyectos futuros se realicen de la mejor manera.

Problemática

Debido a que las normas de agua vigentes en el país solamente se enfocan en el diseño hidráulico y no tienen criterios para la operación y mantenimiento, los cuales pueden influenciar en el comportamiento de los sistemas de agua potable de la ciudad afectando el servicio que se entrega a la población, surge la necesidad de crear esta guía para mejorar el funcionamiento en los futuros proyectos a desarrollarse en la ciudad.

Justificación

La elaboración de esta guía de diseño tiene como finalidad obtener los criterios básicos y más relevantes que tienen influencia en la operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable, manejados por ETAPA-EP. Esto con la finalidad de evitar los constantes daños, demoras excesivas en los arreglos, la afectación a la calidad de agua y el perjuicio económico causado por estos, además de brindar las facilidades al personal para una mayor eficiencia al momento de realizar su trabajo.

Objetivo general

- Elaborar una guía de diseño de captaciones, conducciones y redes de distribución para ETAPA-EP que establezca aspectos específicos y requisitos mínimos que debe cumplir el diseño de sistemas de agua potable para su correcta operación y mantenimiento.

Objetivos específicos

- Determinar los requisitos y criterios mínimos que debe cumplir el diseño de captaciones para su correcta operación y mantenimiento.
- Determinar los requisitos y criterios mínimos que debe cumplir el diseño de conducciones para su correcta operación y mantenimiento.
- Determinar los requisitos y criterios mínimos que debe cumplir el diseño de redes de distribución para su correcta operación y mantenimiento.

CAPITULO I

1. CAPTACIONES DE AGUAS SUPERFICIALES

Las obras de captación son las obras civiles y electromecánicas que se emplean para extraer las aguas desde la fuente para a ser enviada a las plantas de tratamiento.

1.1 ALCANCE

En este capítulo se establecen los criterios básicos, los aspectos específicos y los requisitos mínimos que debe cumplir el diseño de las captaciones de agua para sistemas de agua potable, localizadas sobre fuentes superficiales con el fin de garantizar:

- La derivación desde la fuente de las cantidades de agua prevista y su entrega ininterrumpida a los usuarios.
- La protección del sistema de abastecimiento contra el ingreso a la conducción de sedimentos gruesos, cuerpos flotantes, basuras, plantas acuáticas, etc.
- El no ingreso de peces desde los reservorios y ríos a las líneas de conducción.
- Evitar que entre el agua a la conducción durante los períodos de mantenimiento y en casos de averías y daños en la misma.
- La accesibilidad y seguridad adecuadas para el personal que efectúa mantenimiento de estas unidades

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 que deben ser tomados en cuenta por los consultores y/o constructores que estén realizando el diseño y/o la construcción de este tipo de obras.

1.2 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.

1.2.1 Concepción del proyecto

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

debe hacerse considerando los niveles de agua en la fuente de abastecimiento y los niveles que se deben garantizar en la conducción, tomando en cuenta las condiciones topográficas, hidrológicas y geológicas del lugar de forma de tener las mayores seguridades posibles con respecto a los factores que inciden en su funcionamiento.

1.2.2 Seguridad Funcional

Garantiza el objetivo fundamental, asegurando el caudal necesario bajo cualquier condición de flujo y durante todo el período de diseño. Las posibilidades son:

- Permanentes suficientes.
- Periódicamente insuficiente.

El primer caso es el deseable pues no existirán inconvenientes, pero en el segundo caso, como el caudal de la fuente es menor al del proyecto, en algún período, deberán realizarse obras de almacenamiento o prever fuentes alternativas para cubrir ese déficit.

Las fuentes alternativas también deben utilizarse cuando el volumen es suficiente, pero la calidad del agua es muy variable.

Los caudales bajos ocurren naturalmente, y son parte del modelo hidrológico anual de una captación. Estos eventos se dan en un fragmento pequeño de tiempo, pero cada vez son más largos y estresantes.

Los efectos principales aguas abajo de una captación en el patrón de flujo de un río son:

- Una estación de flujo empieza más tarde y acaba más pronto.
- Las estaciones de flujo bajo suceden más a menudo y duran mucho más tiempo.
- Los niveles bajos de caudal, cuando ellos ocurren, son más pequeños a lo largo del año.

Por lo tanto al existir flujos bajos el diseñador deberá mantener y garantizar el equilibrio adecuado del recurso hídrico en cuanto a cantidad, calidad y regularidad, para satisfacer necesidades ecológicas de agua y otras necesidades de utilización de la misma, como agua potable y riego.

1.2.3 Seguridad Contra Contaminación

El lugar de emplazamiento de las obras de toma debe estar libre de descargas de efluentes sanitarios, industriales o pluviales. El agua debe cumplir con las normas mínimas para ser utilizadas en la producción de agua potable descritas en la Ley.

1.2.4 Seguridad de Ubicación

La toma se deberá ubicar de manera de no modificar el régimen de escurrimiento, evitando embancamientos o erosiones. En los cursos del río se deberá preferir los tramos rectos y estables o bien realizar obras de defensa.

Un punto importante a tener en cuenta, es el acceso a la captación para el personal encargado de su operación y mantenimiento, éste debe ser fácil y permanente.

En la captación se debe evitar el arrastre de material sedimentable y/o flotante, por lo que la profundidad de la toma tendrá una sumergencia y una profundidad tal que evite que dicho material sea absorbido por la captación.

1.2.5 Seguridad Estructural

La obra de toma deberá ser estructuralmente sólida, estable y capaz de soportar los distintos estados de cargas que se le presentan durante todas sus etapas desde la construcción hasta el período de funcionamiento.

El riesgo a asumir por estas estructuras consiste fundamentalmente en:

- Vuelco
- Socavación
- Flotación
- Subpresión

Se debe diseñar de manera que su forma ofrezca la menor resistencia a la corriente de agua.

1.2.6 Seguridad Contra Inundaciones

El proyecto de la obra de toma asegurará que determinados elementos queden por encima del nivel de máxima creciente, tal es el caso de los elementos de maniobra de válvulas y compuertas, los equipos electromecánicos como tableros, sistema de control y de comando, transmisión de datos, macromedidores, entre otros.

También es fundamental que se pueda acceder aún en las peores condiciones, de manera de realizar mantenimiento o reparación de cualquier parte del sistema, especialmente las rejillas y vertederos, en el menor tiempo posible.

1.2.7 Macromedición

La captación debe contar con un sistema de macromedición basado en lo que establezca el órgano de control correspondiente, actualmente se seguirá lo especificado en la guía técnica para la selección de sistemas de medición de agua cruda en conformidad con la regulación N° DIR-ARCA-RG-008-2017, de la Agencia de Regulación y Control del Agua.

1.2.8 Justificación del uso de la fuente

En la elección de un río como fuente de abastecimiento es necesario considerar la variación temporal de los caudales, a fin de determinar la cantidad de agua que puede ser extraída en los períodos de máximo estiaje. No se puede considerar como fuente de abastecimiento a los ríos intermitentes, si no se planifican en ellos embalses de regulación.

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.

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.

1.3 CONDICIONES GENERALES

1.3.1 Tipos de captaciones

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

1.3.1.1 Captaciones con azudes de derivación

Las tomas con azudes de derivación se deben emplear en aquellos lugares en donde es necesario garantizar, durante períodos de estiaje, un nivel de captación más alto que el

natural en el río. Estas obras de toma contemplan, a más de los azudes de derivación, estructuras de regulación a la entrada, desripiadores y desarenadores.

1.3.1.2 Tomas laterales

Se recomienda utilizar tomas laterales cuando los caudales de captación no son muy grandes y cuando la cantidad de sedimentos de fondo es moderada. El lavado de los sedimentos que se acumulen delante del umbral de toma debe realizarse periódicamente levantando las compuertas ubicadas en la presa, delante del orificio de captación.

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

- Azud o presa de derivación.
- Umbral de entrada, sobre elevada en 1 metros o 2 metros sobre el fondo del cauce.
- Pilas y muros que forman orificios cubiertos con compuertas que regulen la entrada del agua a la conducción.
- Pantalla ubicada sobre el umbral de toma y que descienda hasta una profundidad de 0,7 m a 1 m, para la protección contra cuerpos flotantes (árboles, ramas, animales muertos, etc.).
- Reja gruesa de protección a la entrada, para limitar el ingreso de arrastres de fondo, de mayores dimensiones.
- La bocatoma debe estar ubicada por debajo del nivel de aguas mínimas y por encima del probable nivel de sedimentación del fondo.
- Se podrá diseñar la bocatoma de forma que este provista de dos rejillas. La primera de ellas tendrá una separación entre barrotes, para el caso de estructuras de captación en ríos con gravas gruesas, debe ser entre 75 mm y 150 mm, y la segunda para el caso de gravas finas, la separación entre barrotes debe ser entre 20 mm y 40 mm.
- Dispositivos de limpieza, destinados a la eliminación de los sedimentos que se depositan a la entrada de la toma, constituidos por muros, galerías, orificios y compuertas que los atrapen y los evacuen hacia aguas abajo.
- Desripiadores que retengan a los materiales de arrastre de fondo que logran pasar la reja gruesa, y que los evacuen hacia aguas abajo.
- Inmediatamente después de la zona de rejillas 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.

- Accesos, pasarelas, barandas de seguridad del personal.
- Desarenadores para retener los sedimentos en suspensión.

1.3.1.3 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.

1.3.1.4 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 provista con una rejilla metálica para retener materiales de acarreo de cierto tamaño.

Por lo general las tomas con rejilla de fondo tienen la siguiente configuración:

- Azud de derivación de baja altura, provisto de una zanja de captación cubierta por la rejilla de fondo.
- Canal desripiador lateral, conectado a la zanja de captación, generalmente de forma curvilínea en planta, provisto de vertedero lateral de excedencias.
- Umbral de toma ubicado tangencialmente al canal desripiador y al menos 1 m más alto que la solera de éste.
- Compuertas de control al final del desripiador y a la entrada de la toma.
- Accesos, pasarelas, barandas de seguridad del personal
- Desarenadores para retener los sedimentos en suspensión, aguas abajo de la captación.

1.3.1.5 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.

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

- La toma directa debe tener una abertura ubicada paralelamente al sentido de la corriente. Dicha abertura estará protegida mediante las rejillas adecuadas.
- La toma directa debe estar ubicada por debajo del nivel de aguas mínimas y por encima del probable nivel de sedimentación del fondo.
- 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 y la succión de lodos de fondo y material flotante.
- Deberá tenerse especial consideración en la selección de la bomba pues se bombeará agua cruda, la cual contendrá ciertos materiales particulados por lo que no se debe usar bombas diseñadas para aguas limpias.
- 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.

1.3.2 Ubicación de la captación

Las captaciones deben estar ubicadas preferiblemente en los tramos rectos de los ríos con el fin de evitar erosiones y sedimentaciones, embanques o azolves. En el caso de que sea imposible ubicar la captación en una zona recta, debe situarse en un lugar donde los sedimentos puedan ser arrastrados por el flujo del río de manera que el ingreso de sedimentos y material flotante sea el mínimo posible.

En tramos curvos deberá estar ubicada preferentemente en la orilla externa de la curva en una zona donde no haya evidencias de erosión por causa del curso de agua.

En tramos rectos del río, la toma deberá estar inmediatamente aguas arriba del eje del azud de derivación, formando un ángulo entre 60° y 90°, asimismo, se recomienda que el eje de la toma forme un ángulo de 20° hasta 30° con respecto al eje del río.

Un lugar recomendable que cumpla con las condiciones mencionadas, se encuentran aguas abajo del centro de la parte cóncava en los tramos curvos de un río como se observa en la figura 1.1:

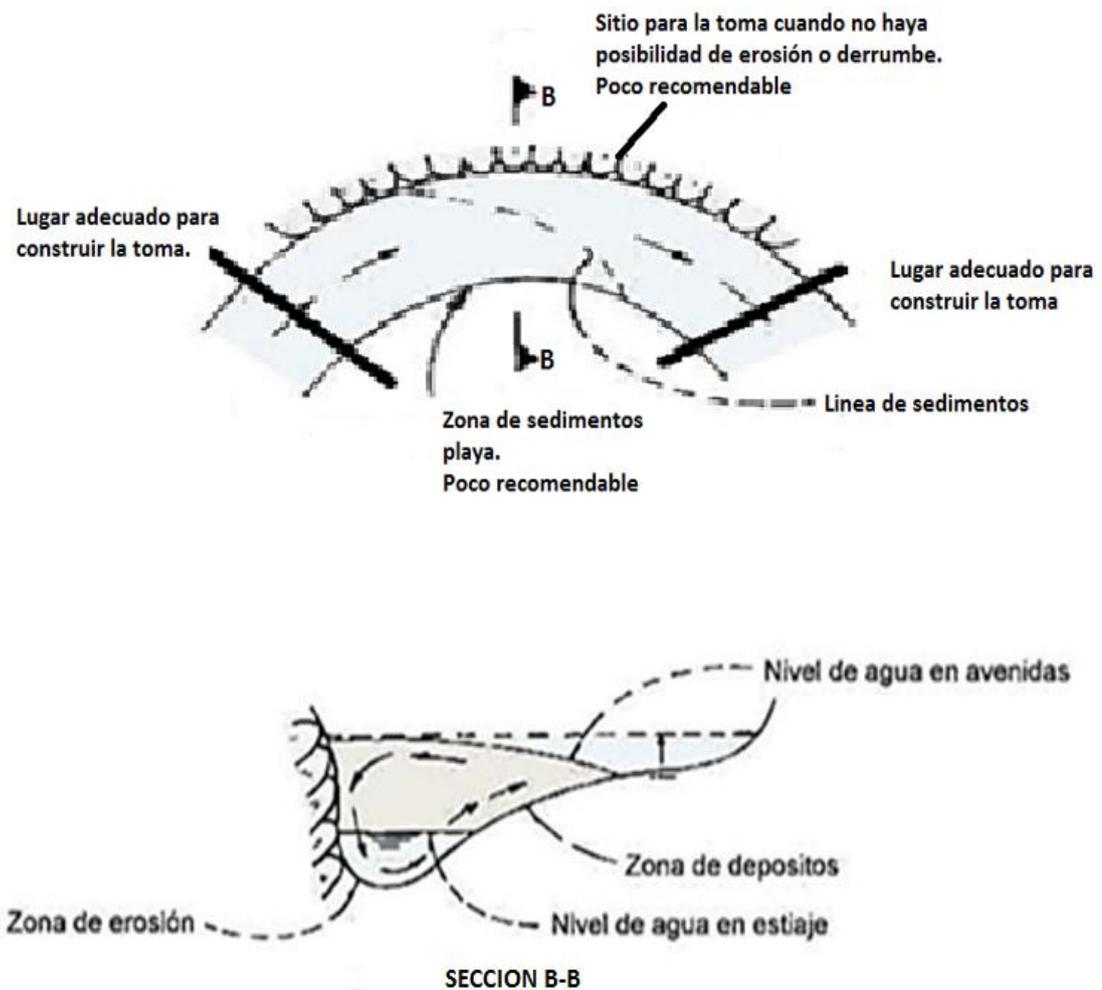


Figura 1. 1: Ubicación de la toma en tramos curvos
Fuente: (Angisaca & Maza, 2012)

Por otro lado, este lugar de construcción de la toma tiene que cumplir las condiciones topográficas (cota de captación), geológicas y geotécnicas, también debe presentar facilidades constructivas (disposición de materiales) y evitar en lo posible inundaciones o daños a construcciones aledañas.

1.3.3 Seguridad de la captación

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, de estiaje y especialmente de crecientes.

Las condiciones de diseño que brindan seguridad son:

- Garantizar la derivación permanente del caudal de diseño
- Proveer un sistema que permita el paso de los caudales de crecida, las cuales acarrearán materiales sólidos y flotantes.
- Captar el mínimo de sólidos y disponer de medios apropiados para su evacuación.
- Estar ubicada en un lugar que presente condiciones favorables desde el punto de vista constructivo y operativo.
- Conservar aguas debajo de la captación, suficiente capacidad de transporte de sólidos para evitar sedimentaciones.
- Conservar aguas abajo el caudal ecológico del río.

1.3.4 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 la que se encuentre ubicado el municipio objeto de la captación de agua para su sistema de acueducto, de acuerdo con la NEC correspondiente.

1.3.5 Facilidad de operación y mantenimiento

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

1.3.6 Lejanía de toda fuente de contaminación

El lugar del emplazamiento de las obras de captación debe estar suficientemente alejado de toda fuente de contaminación. Siempre que sea posible las captaciones se

emplazarán aguas arriba de las regiones habitadas, de las descargas de aguas residuales domésticas y/o las descargas de aguas residuales industriales, en caso de que aguas arriba de la cuenca se localicen áreas pobladas, las aguas residuales de estas deben ser tratadas.

1.3.7 Aprovechamiento de la infraestructura existente

En el caso de que el proyecto consista en la ampliación de un sistema de agua 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.

1.3.8 Desviación de cursos

En la planificación de la ejecución de una obra de captación, debe contemplarse que las modificaciones en los cursos de agua, causen la mínima posibilidad de erosión y el arrastre de elementos.

1.3.9 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.

1.3.10 Cerramientos

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

1.3.11 Vulnerabilidad y confiabilidad

Debe hacerse un estudio para establecer el nivel de vulnerabilidad de la estructura de toma. En caso de tener una alta vulnerabilidad, el sistema de toma debe ser redundante para las estructuras pertenecientes a los **niveles medio y difícil de complejidad.**

1.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

1.4.1 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, 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.

1.4.1.1 Niveles de complejidad

Según el grado de dificultad dado por las condiciones naturales del lugar: estabilidad de las orillas y del cauce, procesos hidrodinámicos, posibilidades de obstrucción de la toma, etc. y por la ubicación, el sitio de captación se considera:

- **Fácil.** Cuando las orillas y el cauce sean estables; la turbiedad sea menor 20 UNT; no existan algas ni elementos en el agua que puedan producir incrustaciones; y, la cantidad de flotantes y basuras sea muy pequeña.
- **De condiciones medias.** Cuando la turbiedad del agua este entre 20 a 100 UNT; las orillas y el cauce sean relativamente estables; el transporte de sedimentos a lo largo de las orillas no ocasione deformaciones; el contenido de algas y otros elementos que producen incrustaciones y la cantidad de flotantes y basuras no constituya un impedimento para el funcionamiento de la captación.
- **Difícil.** Cuando la turbiedad del agua este entre 100 a 500 UNT; las orillas y el cauce sean inestables; el transporte de sedimentos a lo largo de las orillas produzca deformaciones; el contenido de algas y otros elementos que producen incrustaciones y la cantidad de flotantes y basuras dificulte el funcionamiento de la captación.
- **Muy difícil.** Cuando la turbiedad del agua este sea mayor a 500 UNT; el cauce sea totalmente inestable y existan procesos de reconformación e inestabilidad comprobada de las orillas. En sitios de esta categoría no se debe planificar obras de captación.

Además, cuándo los valores de color real superen los 40 UC el tipo de tratamiento a utilizar será convencional.

Para el caso de las obras de captación, los periodos de diseño se especifican entre 25 a 50 años, teniendo en cuenta los grados de complejidad antes descritos.

Para los niveles de complejidad medio y difícil, 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.

1.4.2 Capacidad de diseño

La capacidad de las estructuras de toma debe ser igual al caudal día máximo, más un 20 % equivalente a las pérdidas en la conducción y las necesidades en la planta de tratamiento, calculado para la población futura.

1.4.3 Canales de conducción

Desde la captación hasta el desarenador, deben determinarse las áreas mojadas de canales, 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.

1.4.3.1 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 Chézy.

1.4.3.2 Velocidades máximas

En los canales de conducción a los desarenadores previstos en hormigón armado, la velocidad máxima no superará los 2,5 m/s.

1.4.3.3 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.

1.4.3.4 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.

1.4.4 Medición de caudales en captaciones

ETAPA EP, para cumplir con lo establecido en la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, referente al pago del agua captada, requiere de un sistema de medición de caudales permanente, ubicada en cada una de las captaciones de las principales plantas de tratamiento de la ciudad, estas deberán contar con la tecnología más apropiada, dependiendo de las estructuras existentes, régimen de caudales a medir, ubicación del sistema de medición, seguridad de las instalaciones, requerimientos de energía, precisión necesaria, disponibilidad de sistemas de transmisión de datos, almacenamiento de datos, calidad del agua circulante, variaciones estacionales de caudal, aspectos legales, etc.

El método propuesto será una combinación de medición de alturas de nivel de agua y de medición de la velocidad del agua en la sección de aforo, así como en los puntos de control, pudiendo ser un sistema que efectúe los dos tipos de medición al mismo tiempo para garantizar las medidas.

Los principales objetivos a conseguir son:

- Determinar los métodos de la medición de caudales en captaciones mediante criterios técnicos experimentados para la instalación de una estación de aforo permanente, la selección de una sección de aforo en una parte de las estructuras existentes, la instrumentación, el equipamiento técnico y estructuras necesarias para medición, almacenamiento y transmisión de datos.
- Establecer las curvas de calibración de cada una de las secciones de aforo y control.
- Control permanente de la captación para obtener una rápida respuesta frente a cualquier anomalía de su funcionamiento.
- Cumplir con requisitos legales y reglamentarios del SENAGUA y del ARCA.
- Garantizar la continuidad de la operación de las plantas de agua potable de la ciudad.
- Tener control sobre pérdidas operacionales, hurtos o fugas por daños de las instalaciones entre la captación y la planta de tratamiento.

- Conocer los riesgos de cortes del abastecimiento por inundaciones o sequías, determinar la necesidad de mantenimiento de las estructuras de captación y su desempeño en condiciones de crecidas, en estiajes y sus variaciones dependiendo de la cantidad de sólidos o materiales flotantes que sean retenidos en ella.
- Determinación de la necesidad de interconexiones entre sistemas de abastecimiento de la ciudad por falta del recurso agua en una de las captaciones.
- Mantener indicadores de gestión y de eficiencia.

1.4.4.1 Criterios para el diseño de las estaciones de medición de caudales

El diseñador deberá considerar de manera general los siguientes criterios para el dimensionamiento de las estaciones de medición de caudales:

1. Accesibilidad al sitio

Este deberá considerar protección frente a crecidas, erosiones o avenamientos.

2. Sección de aforo

Las secciones donde se efectúen los aforos, deben en lo posible reunir las siguientes condiciones:

- Las secciones de aforo deberán ser ubicadas en la misma captación, en los ríos dentro de un tramo del curso de agua que presente características estables y de geometría regular tanto longitudinal como transversal, con el objeto de garantizar un flujo estable, preferiblemente uniforme.
- Estas secciones deben ser aprovechadas para mediciones puntuales o continuas de caudal. Se aceptan instalaciones separadas, una para registro de niveles y otra para realizar aforos directos, siendo preferible una única instalación en la que coexistan la posibilidad de registro y la posibilidad de realizar aforos directos con la precisión deseada. El diseño deberá permitir obtener unas condiciones muy aceptables en cuanto a sensibilidad y fidelidad de la estación.
- La sección no debe permitir el depósito de material pétreo, o que contenga otros obstáculos, y que, por sus dimensiones puedan interferir en la medición de la velocidad de la corriente.
- Deben evitarse las secciones cercanas a rejas, compuertas, columnas u otras que interfieran con el normal fluido del agua.

- Las secciones deben ser firmes, estables y bien definidas. Para garantizar una sección firme y estable, preferiblemente deberán ser parte de una estructura de hormigón o mampostería existente.
- Se procurará que las velocidades de la corriente sean mayores que 0,3 m/s y menores que 3,0 m/s, la sección debe ser de fácil acceso o deberá preverse cambios estructurales para conseguirlo, así también, se procurará que la escala o regletas físicas sea de fácil lectura.

3. Aforo directo

En lo posible la tipología elegida debe contemplar la incorporación al diseño de los elementos que permitan realizar aforos directos en cualquier circunstancia de circulación de agua.

4. Instrumentación y Sensibilidad

La precisión esperada en la medición es de al menos 99% del tiempo con un error máximo de 1,5%. En relación a la variación estacional del caudal se espera.

Tabla 1. 1: Precisión esperada en la instrumentación.

CAUDAL	RANGO DE PRECISION ESPERADO
Medio	+/- 1,5%
Bajos	+/- 3%
Altos	+/- 3%

Fuente: (ETAPA-EP , 2018)

Además, se harán todas las consideraciones necesarias sobre estabilidad de las señales, y fiabilidad de las mismas.

5. Requerimientos específicos en relación a la tecnología

Para los equipos electrónicos, neumáticos y mecánicos, estos sistemas deberán soportar la variación de la calidad del agua cruda, así como la presencia temporal de sólidos flotantes y suspendidos además se deberá garantizar la existencia de repuestos a largo plazo.

6. Incorporación al sistema SCADA de la Empresa y Sistemas de transmisión de los datos

El diseño deberá considerar que el sistema de medición de caudal a instalar sea compatible con el sistema SCADA de la empresa y los sistemas de transmisión de datos que se encuentren en uso.

7. Adecuación al tipo de estructuras existentes y mantenimiento

El diseño debe contemplar la ubicación de la infraestructura existente, la normativa medio ambiental vigente y temas de seguridad de todos los elementos que conformarán la estación de medición, así como temas de vandalismo pues las captaciones se encuentran en lugares remotos sin protección especial directo de guardias u operadores.

1.4.5 Rejillas

La captación de aguas superficiales a través de rejillas se utiliza especialmente en los ríos de zonas montañosas, los cuales están sujetos a grandes variaciones de caudal entre los períodos de estiaje y 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.

1.4.5.1 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 caudal máximo en crecientes y por supuesto el nivel máximo alcanzado por las aguas durante las crecientes, con un período de retorno mínimo de 20 años.

La estimación de las descargas extremas es importante para el diseño de las obras de excedencia; establecer la altura de los muros de encauzamiento; estimar la máxima tasa de aporte de sólidos que pudiera presentarse en la zona de la toma.

1.4.5.2 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.

1.4.5.3 Separación entre barrotes

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

1.4.5.4 Ancho de la rejilla

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

1.4.5.5 Velocidad del flujo en la rejilla

La basura flotante tiene un efecto sumamente negativo en ciertas estructuras hidráulicas como las captaciones y es por consiguiente un tema muy importante que involucra el mantenimiento y operación de la estructura.

Un estudio de basura flotante es inusual, por lo que los problemas pueden ser persistentes durante mucho tiempo. Las basuras flotantes también parecerían adaptables a ser manejadas y dispuestas por métodos y equipos ordinarios, sin embargo, la presencia de este material en el lugar menos esperado en un momento malo tendrá un efecto sumamente dañino en la operación de un sistema.

La velocidad efectiva máxima 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 tomando en cuenta que generalmente se produce una colmatación en la reja que varía entre un 25 % a un 50 %, por lo tanto, debemos calcular la superficie total útil a reja sucia, con un factor de colmatación que varía de 1,33 (25 %) a 2 (50 %).

1.4.5.6 Criterio de diseño para las estructuras de captación

Capacidad de diseño: caudal día máximo

Velocidad de acercamiento a la toma, similar a 0,08 m/s

Compuertas verticales en la toma que permita captar agua de calidad buena.

Ubicar la compuerta de captación a una distancia no menor a 2 m del nivel de agua normal y la compuerta de fondo por lo menos 1 m sobre el fondo.

1.4.5.7 Coeficiente de pérdidas menores de la rejilla

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

$$H = K * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:

H= Coeficiente de pérdidas menores de la rejilla en (m)

V= velocidad en (m/s)

g= gravedad

K debe calcularse de la siguiente forma:

$$K = \beta \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^{1.33} \cdot \text{Sen } \alpha \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Donde:

s=ancho barrotes en (m)

b= espacio entre barrotes en (m)

α = Angulo de inclinación vertical de la rejilla

Donde β debe obtenerse de la tabla 1.2, en conjunto con la figura 1.2.

Tabla 1. 2: Coeficiente 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

Fuente: (MinDesarrollo, 2000)

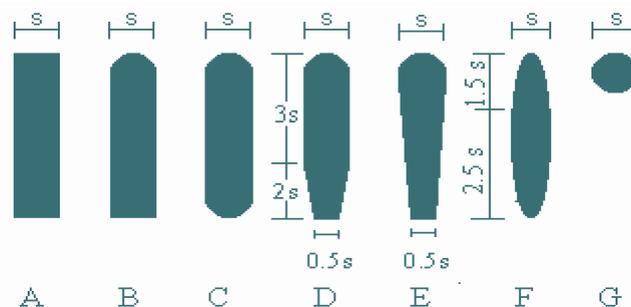


Figura 1. 2: Diferentes formas de barrotes de rejillas.

Fuente: (MinDesarrollo, 2000)

1.4.6 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.

1.4.6.1 Ubicación

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

1. El área de la localización debe ser suficientemente grande para permitir la ampliación de las unidades durante el período de diseño del sistema, siguiendo lo recomendado por el estudio de costo mínimo.
2. El sitio escogido debe proporcionar suficiente seguridad a la estructura y no debe presentar riesgo de inundaciones en los períodos de invierno.
3. La ubicación del desarenador debe garantizar que el sistema de limpieza pueda 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.

1.4.6.2 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.

1.4.6.3 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 $2,65 \text{ gr/cm}^3$.

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

$$V = \frac{(P_s - P) \cdot d^2 \cdot g}{18 \cdot \nu} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Donde:

P_s = peso específico relativo de la partícula de arena.

P = peso específico relativo del agua.

d = diámetro de la partícula en (mm)

ν = viscosidad cinemática en (m^2/s)

g = gravedad.

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

1.4.6.4 Dimensionamiento

Se recomienda que la relación mínima entre la longitud útil del desarenador y la profundidad efectiva para almacenamiento de arena sea 6 a 1, el cual deberá comprobarse para el diámetro de la partícula a remover.

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, la velocidad de arrastre y el tiempo de vaciado de la unidad.

1.4.6.5 Influencia de los procesos de tratamiento posterior al desarenador

Teniendo en cuenta la calidad del agua de la fuente para los procesos de tratamiento de coagulación y filtración en la planta de tratamiento, el diseño de un desarenador debe cumplir lo siguiente:

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%.

1.4.6.6 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 circuitos dentro del desarenador.
2. La tubería o canal de llegada y salida deben colocarse en el eje longitudinal del desarenador.
3. En la entrada debe instalarse un dispositivo para distribuir uniformemente el flujo a lo ancho de la sección transversal del desarenador.
4. El dispositivo de salida debe tener un canal recolector provisto de un vertedero que asegure una distribución uniforme del flujo en toda la sección transversal del desarenador.
5. El dispositivo de rebose debe tener un vertedero lateral ubicado cerca de la entrada del desarenador.
6. El dispositivo de limpieza debe ubicarse en el área de almacenamiento y constará de una caja o canal de recolección de arenas con una pendiente mínima del 5 % y una válvula de apertura rápida.
7. La pendiente de fondo estará comprendida entre el 5 y el 8% con el fin de obtener una limpieza eficiente y permitir que los operadores caminen sin resbalar.
8. Las tuberías o canales de rebose y/o limpieza se unirán a una tubería o canal de descarga, los cuales tendrán una capacidad superior al 15% del caudal principal del desarenador y tendrán un diámetro superior o igual a 300 mm.
9. Debe ubicarse una caja de inspección en la tubería de limpieza adyacente o lo más cerca posible de la descarga de arenas.

10. Todos los elementos deben ser diseñados con métodos anti vandálicos y de seguridad externa para sus operadores.

1.4.6.7 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.

1.4.6.8 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.

1.5 MEMORIA TÉCNICA

El diseñador deberá contemplar en la memoria técnica los siguientes aspectos

1.5.1 Aspectos de la puesta en marcha

El diseñador deberá especificar los aspectos más relevantes de la puesta en marcha de los siguientes elementos:

- Canales
- Rejillas
- Desarenadores

1.5.2 Aspectos de la operación

El diseñador deberá especificar los aspectos más relevantes de la operación de los siguientes elementos:

- Caudal
- Calidad del agua
- Canales
- Rejillas
- Desarenadores

1.5.3 Aspectos del mantenimiento

Las operaciones de mantenimiento y limpieza de todas las estructuras que forman la obra de captación no deben interferir el normal funcionamiento de ésta y el diseñador debe establecer las recomendaciones para el mantenimiento de las diferentes estructuras referido a los siguientes temas:

- Mantenimiento y limpieza
- Mantenimiento correctivo y preventivo
- Control de sedimentos
- Dragado de canales
- Lavado y limpieza de las estructuras de la obra de captación
- Canales
- Rejillas
- Desarenadores

CAPITULO II

2. CONDUCCIONES

Las líneas de conducción son los conductos cerrados destinados al transporte del agua cruda o tratada. En principio debe abastecer a una planta o un centro de reserva; en el caso de que esta sirva a más plantas o centros de reserva, el diseñador deberá establecer plenamente el sistema de operación y mantenimiento con el objetivo de asegurar el funcionamiento continuo del sistema. En estos casos las líneas deberán contar con válvulas reguladoras de caudal en cada una de las plantas o centros de reserva servidos por las mismas.

Las líneas de conducción comprenden: tuberías, accesorios de operación y control, de caudal, presión, sistemas rompe presiones, de admisión o expulsión de aire, desagües.

Las obras de conducción deben diseñarse para garantizar:

- a) El transporte desde la fuente en las cantidades de agua previstas, para garantizar su entrega continua a los usuarios.
- b) La protección contra el ingreso de cuerpos flotantes, basuras, etc.
- c) Control del ingreso y salida de aire en la conducción a presión.
- d) Limitar las sobre presiones producidas en el funcionamiento en régimen transitorio.
- e) La protección de la conducción de la contaminación producida por las aguas superficiales y por el aire.
- f) La posibilidad de operaciones de mantenimiento, durante los tiempos previstos y para las distintas categorías de garantías de abastecimiento y características de los usuarios.

2.1 ALCANCE

En este capítulo se establecen los criterios básicos, los aspectos específicos y los requisitos mínimos que debe cumplir el diseño de conducciones, con el fin de garantizar la seguridad, la confiabilidad, la durabilidad, la funcionalidad, la calidad del agua, la eficiencia, la sostenibilidad (técnica, legal, económica, financiera, ambiental), y la redundancia del sistema. También se incluyen aquellos aspectos que desde el

diseño tengan influencia sobre los procesos de construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de las conducciones.

2.2 ESTUDIOS PREVIOS

2.2.1 Concepción del Proyecto

Durante la concepción del proyecto de diseño de las conducciones y sus variantes deben definirse los criterios técnicos y económicos que permitan comparar todas las alternativas las cuales deben definirse en base a estudios de calidad del agua; tipo de fuente de abastecimiento; distancia entre la fuente y el sitio a servir; condiciones topográficas, geológico-geotécnicas y cantidad de agua a transportar.

Las líneas de conducción se diseñarán para garantizar el transporte del caudal necesario para satisfacer la demanda de agua considerada al final del período de diseño, sus etapas de implementación y sus condiciones de operación durante este período.

Considerando la topografía, la distancia y la diferencia de nivel entre las estructuras hidráulicas que forman parte del sistema de conducción de agua, cuando se diseñe conducciones a presión, deberá cumplir con todos los requisitos de resistencia a las presiones que se someterán durante todas las condiciones de operación.

2.2.2 Infraestructura existente

Para el proceso de diseño deben identificarse las principales obras de infraestructura construidas y proyectadas dentro de la zona de influencia de la conducción que se va a desarrollar, tales como calles, avenidas, puentes, tranvía, líneas de transmisión de energía eléctrica, sistemas de alcantarillado y cualquier otra obra de importancia. El análisis de la infraestructura existente debe incluir un estudio sobre el sistema de conducciones, en el cual se establezca tanto el catastro de tuberías y accesorios, como el estado estructural de las tuberías y la operación hidráulica del sistema.

2.2.3 Aspectos generales de la zona de la conducción

El diseñador debe conocer todos los aspectos generales de la zona por donde cruzará la conducción. En general deben conocerse los regímenes de propiedad y los usos generales de la zona objeto del diseño.

La elección de la alineación de la conducción debe basarse en la comparación técnico económico de alternativas, considerando las dificultades que puedan presentarse, tales como:

- Zonas pantanosas, con características que tornen difícil el acceso a esos tramos, para labores de mantenimiento.
- Zonas de inestabilidad comprobada.
- Áreas de interés social o de seguridad pública, cuya ocupación sea perjudicial, a criterio de las autoridades competentes.
- Aeropuertos, autopistas y vías de tráfico intenso, que no ofrezcan posibilidades de mantenimiento de la conducción.
- Vías férreas electrificadas, cuando la conducción pueda ser afectada por el campo eléctrico.

2.2.4 Estudios topográficos

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

- 1.** Planos aerofotogramétricos de la zona en donde va a diseñarse, construirse o ampliarse la conducción.
- 2.** Planos de catastro de todas las obras de infraestructura existente de la zona del proyecto.
- 3.** Fotografías aéreas existentes para la zona objeto del diseño, que incluyan claramente la zona donde va a diseñarse, construirse o ampliarse la conducción.
- 4.** Los planos de catastro o inventario de las redes de las conducciones existentes que tengan relación con la conducción objeto del diseño. En particular debe tenerse en cuenta la localización de las redes de distribución y/o las estructuras hidráulicas que forman parte del sistema de conducción.
- 5.** El estudio topográfico de la zona objeto del diseño, o de sus áreas de expansión.
- 6.** En todo lo relacionado a precisiones de los trabajos topográficos se estará a lo dispuesto en las especificaciones técnicas de trabajos topográficos de la empresa ETAPA EP.

2.2.5 Condiciones geológicas

El diseñador debe conocer todas las condiciones geológicas y las características del subsuelo en las zonas de trazado de la conducción. Mediante el uso de planos geológicos, deben identificarse las zonas de falla, de deslizamiento, de inundación y en general todas las zonas que presenten algún problema causado por aspectos geológicos. Se deben evitar alternativas de trazado que crucen zonas claramente identificadas como zonas de deslizamiento para las conducciones, a menos que se realicen los trabajos que garanticen la estabilidad de la tubería. El diseñador consultará previamente los estudios de riesgos de los sistemas de agua potable y saneamiento existentes en ETAPA EP.

2.2.6 Cuerpos receptores de aguas de lavado de la red

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

En caso de utilizar cuerpos naturales para receptar las aguas de lavado de las conducciones de agua potable el diseñador, deberá considerar los elementos necesarios en la descarga, que permitan la instalación de un sistema de neutralización de cloro para cumplir con los límites de descarga establecidos en la norma ambiental correspondiente.

2.2.7 Estudio de suelos

En los términos de referencia de los contratos de consultoría que realiza ETAPA-EP deberá contemplarse un estudio geotécnico para determinar las propiedades corrosivas de los suelos alrededor del trazado de la línea de conducción.

Las características agresivas de los suelos se pueden determinar con base en el contenido de aniones del mismo, cloruros, sulfatos y sulfuros, pH, potencial rédox y resistividad. Este tipo de información resulta de interés para predecir la agresividad de un suelo frente a, por ejemplo, una tubería enterrada y con base en esto, evaluar la corrosión y la protección correspondiente.

El especialista del equipo consultor propondrá en su oferta técnica y justificará el método de análisis de estos parámetros y en base al mismo determinará el alcance de las pruebas de campo requeridas, las cuales deberán ser aprobadas por ETAPA-EP.

2.2.8 Interferencia con otras redes y corrientes eléctricas

Cuando el trazado de la línea de conducción cruce o esté cerca de redes eléctricas, líneas del tranvía y líneas de alta transmisión, el diseñador debe estudiar la magnitud de las corrientes parásitas con el fin de seleccionar el material apropiado para la tubería de la conducción o su protección necesaria contra los problemas de corrosión inducido por corrientes eléctricas.

2.3 CONDICIONES GENERALES

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

2.3.1 Recomendaciones de trazado

2.3.1.1 Recomendaciones generales

Hasta donde sea posible el diseño de la conducción debe tener como objetivo el que ésta se instale en terrenos de propiedad pública, evitando interferencias con complejos industriales, vías de tráfico intenso, redes eléctricas, colectores del sistema de alcantarillado, instalaciones aeroportuarias, etc. Cuando esto no sea posible se procederá a la expropiación de la franja, en particular, deben cumplirse los siguientes requisitos:

- 1.** El trazado se debe hacer, en lo posible, paralelo a las vías públicas. En caso contrario, o si se considera inconveniente desde el punto de vista económico o que implique el uso de predios privados, será necesario establecer la correspondiente servidumbre.
- 2.** En caso de que se considere necesario, deben estudiarse alternativas que no sigan las vías públicas, para que el trazado no cruce hondonadas o puntos muy altos pronunciados, o porque se deban rodear quebradas y cauces profundos o para evitar cruces directos con obras de infraestructura importantes.

3. Con el fin de acortar la longitud de la conducción, o comparar con trazados posibles en túnel, deben estudiarse alternativas al trazado. Esto también debe hacerse en caso de que sea necesario cruzar terrenos que tengan niveles freáticos muy altos.
4. El trazado de la línea de conducción debe permitir un acceso directo permanente a los vehículos encargados de las labores de mantenimiento. Además, debe asegurarse que los pasos no se encuentren restringidos o cerrados para las labores de mantenimiento.
5. Cuando la conducción cruce obligatoriamente una carretera de tráfico intenso, se debe prever la instalación de ésta en el interior de una galería o de un ducto, a fin de facilitar las operaciones de inspección y mantenimiento, sin la interrupción del tráfico, para el cual el acceso a las estructuras especiales o accesorios de la conducción debe hacerse desde uno de los lados de la vía.
6. Los cruces de las conducciones de agua con canalizaciones, quebradas, estructuras, vías férreas, y otras, se deben diseñar para cada caso particular con las protecciones requeridas.
7. En el caso de conducciones nuevas en vías, la tubería se debe localizar en los lados sur y este de las vías o por el costado opuesto al alcantarillado de aguas residuales.

2.3.1.2 Recomendaciones específicas

1. El trazado de las conducciones debe ser lo más directo posible.
2. El trazado definitivo debe garantizar que la línea piezométrica en todo punto de la conducción sea positiva y que en ninguna zona cruce con la tubería con el fin de evitar presiones manométricas negativas que representen un riesgo de colapso de la tubería por aplastamiento o zonas con posibilidades altas de cavitación.
3. Deben evitarse los trazados que impliquen presiones excesivas que puedan llegar a afectar la seguridad de la conducción. En caso contrario, el diseño debe prever que el tipo de tubería, accesorios, anclajes, utilizados puedan soportar dichas presiones con los factores de seguridad correspondientes.
4. El trazado debe evitar tramos con pendientes y contra pendientes que puedan causar bloqueos por aire en la línea de conducción. En caso contrario debe incluir el diseño de las válvulas de admisión y/o expulsión de aire (tipo anti-golpe de ariete) correspondientes.

5. El trazado definitivo debe evitar, hasta donde sea posible, zonas con alto riesgo.
6. En caso de que el nivel freático quede por encima de la línea de conducción, el diseño debe contemplar todas las protecciones necesarias para que el material de la tubería no se vea afectado por éste.

2.3.2 Facilidad de acceso a cajas de válvulas y accesorios

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

2.3.3 Protección contra la contaminación

El diseño debe tener especial cuidado con la posible contaminación de las aguas tratadas que se mueven a lo largo de la conducción. En general, los conductos a presión son poco vulnerables a la contaminación que se encuentra en los suelos que rodean la tubería. En caso de que la línea de conducción cruce terrenos que pudiesen causar contaminación del agua tratada, el conducto debe protegerse en su exterior según lo indicado en el numeral 2.5.3 de este documento, para evitar posibles problemas de infiltración hacia el conducto, ya sea por corrosión o por permeabilidad de la pared a ciertos contaminantes.

2.3.4 Vulnerabilidad y confiabilidad de la línea de conducción

La conducción es vulnerable a la deformación del suelo causada por problemas geotécnicos, geológicos y/o topográficos. El diseño debe establecer el nivel de vulnerabilidad, con el fin de establecer la necesidad o no, de hacer redundante la conducción objeto del diseño.

En caso de que se considere que la conducción de agua potable es altamente vulnerable, el abastecimiento debe ser redundante a través de las otras tuberías existentes en la red de conducciones, las cuales deben tener capacidad de mover los caudales requeridos bajo las condiciones de emergencia resultantes de la posible falla. En caso de que no sea posible contar con la redundancia en la conducción (cuando no forme parte de una red interconectada), los tanques de almacenamiento abastecidos

por ésta, deben tener un volumen de agua que garantice el consumo de la población en un período mínimo de 6 horas.

Cuando se prevea una sola línea de conducción, es necesario considerar tanques de reserva, capaces de absorber la demanda durante el tiempo que tome la reparación del daño.

El tiempo necesario para la reparación de la tubería debe asumirse según la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Tiempos para reparación de tuberías.

DIÁMETRO DE LA TUBERÍA mm	TIEMPO DE REPARACIÓN EN HORAS, SEGÚN LA PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA	
	< 2 m	> 2 m
Hasta 400	8	12
De 400 a 1000	12	18
Más de 1000	18	24

Fuente: (CPE INEN 5 Parte 9-1:1992, 1992)

Con el fin de establecer la vulnerabilidad de las tuberías de la conducción frente a la deformación del suelo de las se debe seguir lo establecido en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Vulnerabilidad de las tuberías de conducción frente a la deformación del suelo.

TIPO DE MATERIAL Y DIÁMETRO	TIPO DE UNIÓN
Vulnerabilidad baja	Vulnerabilidad baja
Hierro dúctil	Campana y espiga con empaque de caucho, fija.
Polietileno	Fundida.
Vulnerabilidad media	Vulnerabilidad baja a media
Hierro dúctil	Campana y espiga con empaque de caucho, suelta.
Vulnerabilidad alta	Vulnerabilidad alta
PVC	Unión elastomérica o cementado solvente.

Fuente: (EPM, 2009)

En ningún caso se pueden permitir estas conexiones domiciliarias a la red de conducciones del sistema. El diseñador debe además identificar las zonas de vulnerabilidad por conexiones ilícitas y plantear posibles soluciones entre las que se recomienda la profundización de las tuberías, el uso de materiales especiales, etc.

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

2.3.5 Control de crecimiento y desprendimiento de biopelículas

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

2.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

2.4.1 Período de diseño

El período de diseño de las conducciones debe ser escogido de acuerdo a la magnitud del proyecto y, nunca inferior a 15 años. Adicionalmente, el diseño de las líneas de conducción debe considerar las siguientes recomendaciones:

- 1.** Se debe estudiar la posibilidad de construcción por etapas de las obras de conducción, redes y estructuras; así como también prever el posible desarrollo del sistema y sus obras principales, considerando la dinámica de la demanda del servicio.
- 2.** En general se considerará que las obras sean de fácil ampliación, tener períodos de diseño más cortos; mientras que las obras de gran envergadura o aquellas que sean de difícil ampliación, deben tener períodos de diseño más largos.
- 3.** El diseño de obras definitivas podrá prever la construcción por etapas, las mismas que no serán más de tres. Para cada caso deberá analizarse el comportamiento hidráulico con respecto a los sistemas de control y medición en relación a la variación de caudal en el tiempo.
- 4.** Se recomienda para diámetros iguales o superiores a 400mm dividir a la tubería de conducción a presión en tramos de mantenimiento, colocando válvulas de corte o seccionamiento en distancias no mayores a 2 km, tomando en cuenta la ubicación de las válvulas de purga y admisión/expulsión de aire. En este caso deberá realizarse un análisis de transitorios, considerando los anclajes y los mecanismos de cierre y apertura de las válvulas de corte.

5. El período de diseño de obras de emergencia se escogerá tomando en cuenta la duración de ésta, es decir, considerando el lapso previsto para que la obra definitiva entre en operación.

6. Se tendrá presente la reposición de los elementos cuya vida útil sea menor al período de diseño, debiendo cumplir con los criterios económicos-financieros que garanticen la rentabilidad del proyecto.

2.4.2 Caudal de diseño

El caudal de diseño para las conducciones, o ampliaciones de ésta, debe satisfacer la demanda de agua, considerada al final del período de diseño.

Los caudales de diseño para sistemas que funcionan de forma continua serán calculados mediante el empleo de las siguientes fórmulas:

1.-Caudal Medio Diario (Qmd)

Caudal Medio Diario: Este caudal corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año, proyectado al horizonte de diseño.

$$Qmd = P \times Dbruta / 86400 \text{ (l/s)} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

En donde: P = población futura $Dbruta$ = Dotación bruta

Dotación bruta: es la cantidad mínima de agua para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando las pérdidas que ocurran en el sistema de conducciones, distribución de agua potable, en los bombeos y en los tanques de almacenamiento.

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

En las siguientes tablas se especifican la dotación bruta y neta promedio, resultantes de los estudios actualizados realizados por el SOAS a partir de la base comercial de la empresa, para el cálculo de la dotación bruta se usó la ecuación 2.2:

$$Db = \frac{D \text{ neta}}{1 - \% \text{ Perdidas}} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Tabla 2. 3: Dotaciones Netas y Brutas promedios para la zona: Urbana, Consolidada y Especial.

AÑO	TASAS DE CONSUMO				DOTACIÓN NETA l/hab-día	PERDIDAS FÍSICAS + mm l/hab-día	DOTACIÓN BRUTA l/hab-día	DOTACIÓN BRUTA ASUMIDA l/hab-día
	RESIDENCIAL l/hab-día	COMERCIAL l/hab-día	INDUSTRIAL l/hab-día	ESPECIAL l/hab-día				
2015	187	17	4	12	220	31%	319	320
2020	183	17	4	12	216	30%	309	320
2025	179	16	4	11	210	30%	300	300
2030	176	16	4	11	207	29%	292	300
2035	174	15	4	11	204	29%	287	290
2040	172	15	4	11	202	28%	281	290
2045	170	15	3	10	198	28%	275	275
2050	170	14	3	10	197	28%	274	275

Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019)

Tabla 2. 4: Dotaciones Netas y Brutas promedios para la zona: Periurbana

AÑO	TASAS DE CONSUMO		DOTACIÓN NETA l/hab-día	PERDIDAS FÍSICAS + mm l/hab-día	DOTACIÓN BRUTA l/hab-día	DOTACIÓN BRUTA ASUMIDA l/hab-día
	RESIDENCIAL l/hab-día	COMERCIAL l/hab-día				
2015	152	17	169	31%	245	245
2020	150	17	167	30%	239	245
2025	148	16	164	30%	234	235
2030	146	16	162	29%	228	235
2035	144	15	159	29%	224	225
2040	143	15	158	28%	219	225
2045	142	15	157	28%	218	220
2050	142	14	156	28%	217	220

Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019)

Tabla 2. 5: Dotaciones Netas y Brutas promedios para la zona: Rural.

AÑO	TASA DE CONSUMO	DOTACIÓN NETA l/hab-día	PERDIDAS FÍSICAS + mm l/hab-día	DOTACIÓN BRUTA l/hab-día	DOTACIÓN BRUTA ASUMIDA l/hab-día
	RESIDENCIAL l/hab-día				
2015	113	113	30%	161	160
2020	112	112	30%	160	160
2025	111	111	30%	159	160
2030	110	110	30%	157	160
2035	110	110	30%	157	160
2040	109	109	30%	156	160
2045	108	108	30%	154	160
2050	108	108	30%	154	160

Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019)

Para la realización de nuevas extensiones del sistema de agua potable se deberá consultar las dotaciones por sectores de distribución, presentadas en la base georreferenciada de GAPASA.

2.-Caudal Máximo Diario (QMD)

Caudal Máximo Diario: corresponde al máximo caudal consumido, registrado en un período de 24 horas a lo largo de un año.

$$QMD = KMD \times Qmd \quad \text{Ecuación 2.3}$$

En donde $KMD =$ Coeficiente de variación de consumo máximo diario.

Se adopta $KMD = 1,3$.

3.-Caudal Máximo Horario (QMH)

Caudal Máximo Horario: corresponde al caudal de consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio.

$$QMH = KMH \times QMD = KMH \times KMD \times Qmd = K2 \times Qmd \quad \text{Ecuación 2.4}$$

El resultando de $KMD * KMH = K2$

En las siguientes figuras se especifican los valores de KMH promedio en el área urbana y periurbana, resultantes de los estudios actualizados realizados por el SOAS a partir de la base comercial de la Empresa:

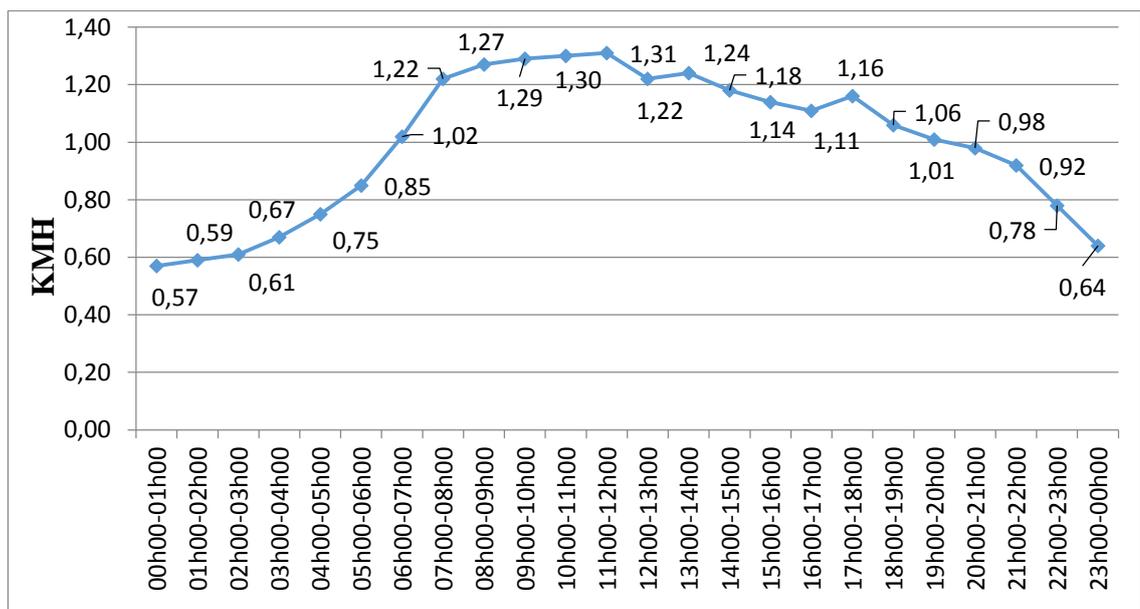


Figura 2. 1: KMH en la área urbana promedio de los tanques Cristo rey, Miraflores y Turi. Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019)

Para el área urbana se adopta un KMH = 1,3.

En el área periurbana según lo detallado en la curva a continuación:

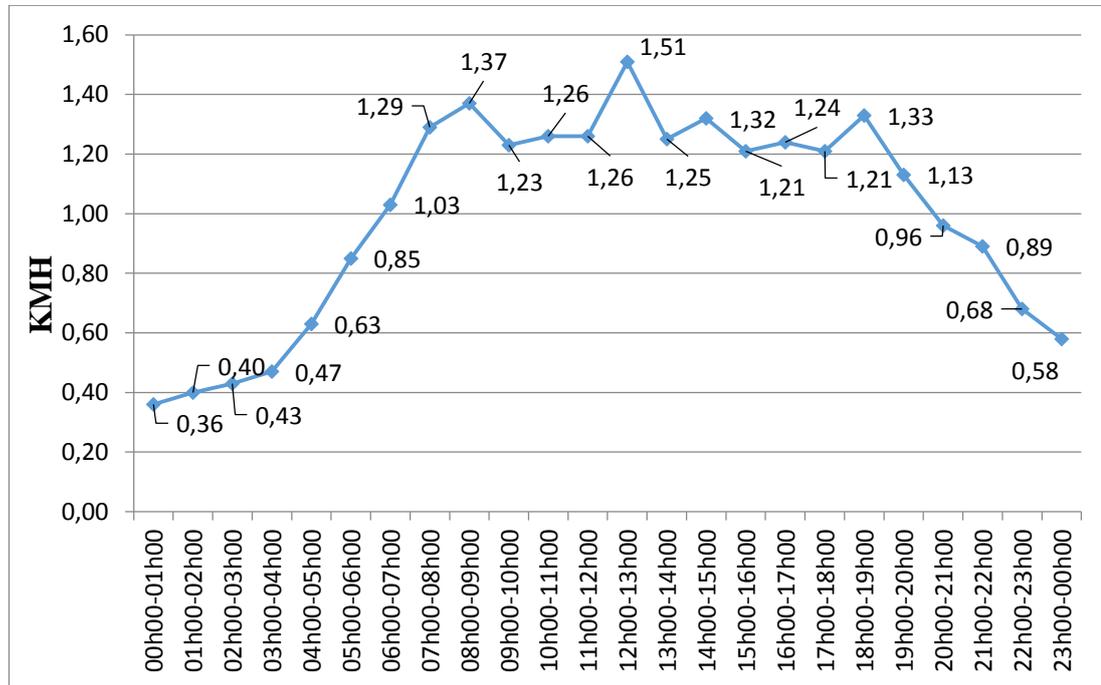


Figura 2. 2: KMH en la área periurbana promedio de los tanques Calderón, Rayo loma y Trinidad.

Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019)

Para el área periurbana se adopta un KMH = 1,5

Tabla 2. 6: Caudales de Diseños Adoptados.

COMPONENTE	CAUDAL DE DISEÑO
Conducción agua no tratada	QMD + 10% (*)
Conducción agua tratada a Gravedad	QMD
Conducción agua tratada a bombeo	Caudal que brinde la mayor eficiencia del sistema.

(*) 10% sobre QMD representa el volumen de agua para atender las necesidades de la planta de tratamiento (volúmenes de lavado y consumo interno de la planta).

Fuente: (ETAPA-EP , 2004)

2.4.3 Requisitos de tuberías

Las tuberías de conducción deben cumplir los siguientes requisitos:

1. El trazado de la conducción a presión, en planta, debe estar constituido por tramos rectos, o por segmentos rectos seguidos de cambios de dirección. En perfil, estará preferentemente constituido por tramos rectos. Así mismo, la tubería debe estar protegida contra impactos.

2. Cuando se impongan cambios de pendiente, a consecuencia del relieve del terreno, se evitará multiplicarlos excesivamente, especialmente en conducciones de gran diámetro, a fin de facilitar el montaje de tuberías y accesorios. En este caso deberán diseñarse los anclajes correspondientes.

3. Excepto en PVC, las conducciones formadas por segmentos rectos pueden colocarse en curva, si es necesario, mediante la deflexión recomendada por el fabricante de las tuberías en sus juntas, si éstas son del tipo flexible. Sin embargo, si el trazado de la línea de conducción implica una vulnerabilidad alta de acuerdo con lo definido en el Numeral 2.3.5 de esta guía, cruza suelos con problemas de estabilidad o zonas vulnerables a sismos. No se recomienda deflectar las tuberías en las uniones mecánicas con el fin de mantener su flexibilidad y dar seguridad a la conducción.

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

1. No pueden intersectar en ningún momento, ni para ningún caudal, la línea piezométrica en sus condiciones normales de operación.

2. Cuando las condiciones topográficas del trazado de la tubería presenten una aproximación entre la tubería y la línea piezométrica, el flujo debe hacerse por gravedad a partir del punto de mínima presión.

3. Cuando se utilicen conducciones que empleen estaciones de bombeo con sistema de velocidad variable deberá verificarse el funcionamiento de la misma considerando todos los elementos previstos en la norma ecuatoriana (capítulo 11).

2.4.4 Materiales para las tuberías de conducción

Las conducciones podrán ser ejecutadas con diferentes materiales, escogidos según el tipo de funcionamiento, operación y mantenimiento que se dé al tramo, y considerando además las características del terreno y las cargas actuantes. Adicionalmente en relación con las características de los diferentes materiales que pueden conformar las tuberías de conducción, se debe cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas correspondientes, o en caso de que éstas no existan, de las normas internacionales ISO.

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

- 1.** Los materiales y tipo de tubería se deben escoger en base a las condiciones sanitarias, la agresividad de los suelos y la calidad del agua a transportar.
- 2.** El tipo de protección interna y externa, contra la corrosión, debe establecerse en base al conocimiento de las características de corrosividad de los suelos y del agua a transportarse.
- 3.** Se debe estudiar la corrosividad que puedan producir las corrientes divagantes, en los casos en que la conducción cruce un ferrocarril electrificado o una línea de alta tensión.
- 4.** En lo posible, hay que evitar los terrenos inestables o los suelos, cuyo análisis revele una corrosividad especial. Si a pesar de todo, es necesario atravesarlos, conviene localizar la conducción con el mejor alineamiento posible y diseñar medidas de seguridad que minimicen los riesgos de daño.
- 5.** Cuando la conducción con tuberías de hierro dúctil atraviese terrenos particularmente corrosivos, la protección debe hacerse con mangas de polietileno.
- 6.** Se debe dar preferencia al uso de materiales de fabricación nacional.
- 7.** La resistencia a los esfuerzos mecánicos producidos por las cargas tanto internas como externas.
- 8.** La facilidad de desprendimiento de biopelículas y depósitos inorgánicos. Se deberán verificar las velocidades al inicio y final del período de diseño.
- 9.** El tipo de uniones y la necesidad de anclaje de las tuberías.
- 10.** Las características de comportamiento hidráulico del proyecto objeto del diseño, incluyendo las presiones de trabajo máximas y mínimas, y las sobrepresiones y subpresiones causadas por golpe de ariete.
- 11.** Las condiciones económicas y financieras del proyecto.
- 12.** La vida útil de las tuberías.
- 13.** Se recomienda utilizar tuberías de PVC para conducciones con diámetros iguales o inferiores a 400mm, sobre este valor es económicamente mejor utilizar tuberías de hierro dúctil.

14. Para las tuberías de hierro dúctil se debe utilizar un recubrimiento interno de mortero de cemento.

15. Las tuberías y accesorios de hierro dúctil, deben instalarse preferentemente, cuando éstas crucen centros poblados, áreas industriales y agroindustriales, y cuando por razones técnico-económicas no se pueda utilizar tuberías no metálicas.

16. El material de las tuberías y accesorios debe elegirse teniendo en cuenta las características que éstas 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 inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto, así como la seguridad y la vulnerabilidad de la tubería.

El diseñador debe conocer las características que presentan los distintos materiales disponibles para conductos a presión. En este aspecto, se podrán utilizar tuberías de materiales comerciales siempre y cuando se conozcan las características técnicas de cada material y se cumplan con las normas técnicas nacionales o internacionales.

En la Tabla 2.7 se muestran algunas de las normas técnicas nacionales e internacionales sobre tuberías. Éstas deben cumplirse, pero siempre dando prioridad a la Norma Técnica Ecuatoriana correspondiente, en caso de que ésta exista.

Tabla 2. 7: Especificaciones y normas técnicas sobre tuberías.

Material de la Tubería	Norma Ecuatoriana	Normas Internacionales
HIERRO DÚCTIL – HD		ISO 2531 y conexas
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD – PEAD	NTE INEN 1744:2009	ISO 4427 y conexas
POLIVINILO DE CLORURO - PVC	NTE INEN 1373-2016	ISO 4065 ISO 3606 ISO 161-1
1) Norma NTE INEN 1744:2009:” TUBOS DE POLIETILENO PARA CONDUCCION DE AGUA A PRESION. REQUISITOS” 2) Norma NTE INEN 1373-2016: “TUBERIA PLASTICA. TUBOS Y ACCESORIOS DE PVC RIGIDO PARA PRESION.” 3) Norma ISO 2531: “TUBERÍA EN HIERRO DÚCTIL” 4) Norma ISO 4427: “SISTEMA DE TUBERÍAS PLÁSTICAS. TUBOS DE POLIETILENO (PE) Y CONEXIONES PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA” 5) Norma ISO 4065: “Tubos termoplásticos - Tabla de espesor de pared universal” 6) Norma ISO 3606: “TUBERÍAS DE CLORURO DE POLIVINILO (PVC) SIN PLASTIFICAR - TOLERANCIAS EN DIÁMETROS EXTERIORES Y ESPESORES DE PARED” 7) Norma ISO 161-1: “TUBOS TERMOPLÁSTICOS PARA EL TRANSPORTE DE FLUIDOS - DIÁMETROS NOMINALES EXTERNOS Y PRESIONES NOMINALES”		

Fuente: Autor

2.4.4.1 Tablas para tubería en hierro dúctil según norma iso2531:2009

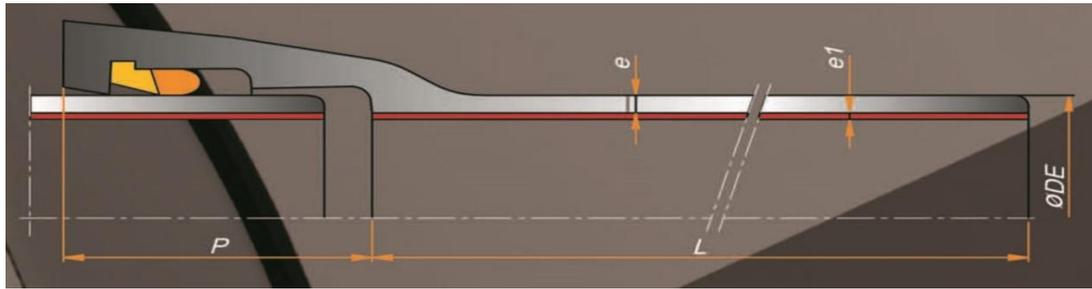


Figura 2. 3: Tubería de hierro dúctil.

Fuente: (ISO 2531, 2009)

Tabla 2. 8: Dimensiones (clases de presión preferidas).

DN	L	Clase	ØDE	e	e1	P	Masa sin revestimiento	Masa con revestimiento de cemento
mm	m		mm	mm		mm	kg/m	kg/m
100	6,00	C40	118	4,4	3	88	11,8	14
150	6,00	C40	170	4,5	3	94	17,7	20,9
200	6,00	C40	222	4,7	3	100	24,5	28,9
250	6,00	C40	274	5,5	3	105	35,5	40,9
300	6,00	C40	326	6,2	3	110	47,4	53,8
350	6,00	C30	378	6,4	5	110	56,4	68,9
400	6,00	C30	429	6,5	5	110	66	80,2
500	6,00	C30	532	7,5	5	120	94,5	112,1
600	6,00	C30	635	8,7	5	120	130,7	151,9
700	6,96	C25	738	8,8	6	150	157,4	187
800	6,95	C25	842	9,6	6	160	198,4	232,2
900	6,95	C25	945	10,6	6	175	246,4	284,4
1000	6,96	C25	1048	11,6	6	185	299,5	341,7
1100	8,19	C25	1152	12,6	6	160	344,3	390,7
1200	8,19	C25	1255	13,6	6	165	403,4	454,1
1400	8,17	C25	1462	15,7	9	240	554,3	642,7
1500	8,16	C25	1565	16,7	9	250	632,4	727,1
1600	8,16	C25	1668	17,7	9	260	716,9	817,9
1800	8,15	C25	1875	19,7	9	270	900,1	1013,7
2000	8,13	C25	2082	21,8	9	290	1112,6	1238,8

Fuente: (ISO 2531, 2009)

Tabla 2. 9: Presiones admisibles según su clase.

DN	CLASE DE PRESION	PFA	PMA	PEA
		bar		
80 - 300	C40	40	48	53
350 - 600	C30	30	36	41
700 a 2000	C25	25	30	35

Fuente: (ISO 2531, 2009)

2.4.4.2 Tablas para tubos de polietileno para conducción de agua a presión

Tabla 2. 10: Tubo de PE 100 con esfuerzo hidrostático de diseño σ_s de 8,0 MPa.

Diámetro Nominal Exterior (mm)	Serie del tubo (S) ¹⁾					
	S12,5	S10	S8	S6,3	S5	S4
	Relación diámetro-espesor normalizada (SDR)					
	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9
	Presión nominal de trabajo PN ²⁾ , en MPa					
	0,63	0,8	1	1,25	1,6	2
Espesor nominal de pared, en mm						
20	-	-	-	-	2,0	2,3
25	-	-	-	2,0	2,3	2,8
32	-	-	2,0	2,4	2,9	3,6
40	-	2,0	2,4	3,0	3,7	4,5
50	2,0	2,4	3,0	3,7	4,6	5,6
63	2,5	3,0	3,8	4,7	5,8	7,1
75	2,9	3,6	4,5	5,6	6,8	8,4
90	3,5	4,3	5,4	6,7	8,2	10,1
110	4,2	5,3	6,6	8,1	10,0	12,3
125	4,8	6,0	7,4	9,2	11,4	14,0
140	5,4	6,7	8,3	10,3	12,7	15,7
160	6,2	7,7	9,5	11,8	14,6	17,9
180	6,9	8,6	10,7	13,3	16,4	20,1
200	7,7	9,6	11,9	14,7	18,2	22,4
225	8,6	10,8	13,4	16,6	20,5	25,2
250	9,6	11,9	14,8	18,4	22,7	27,9
280	10,7	13,4	16,6	20,6	25,4	31,3
315	12,1	15,0	18,7	23,2	28,6	35,2
355	13,6	16,9	21,1	26,1	32,2	39,7
400	15,3	19,1	23,7	29,4	36,3	44,7
450	17,2	21,5	26,7	33,1	40,9	50,3
500	19,1	23,9	29,7	36,8	45,4	55,8
560	21,4	26,7	33,2	41,2	50,8	62,5
630	24,1	30,0	37,4	46,3	57,2	70,3
710	27,2	33,9	42,1	52,2	64,5	79,3
800	30,6	38,1	47,4	58,8	72,6	89,3
900	34,4	42,9	53,3	66,1	81,7	-
1000	38,2	47,7	59,3	73,5	90,8	-
1200	45,9	57,2	71,1	88,2	-	-

Nota 1: La serie de los tubos se deriva de la relación σ_s /PN, donde σ_s es el esfuerzo de diseño a 20°C y PN es la máxima presión de trabajo de los tubos a 20°C

Nota 2: La mínima presión nominal considerada para los tubos a utilizarse en conducción de agua potable es 0,63 MPa y con espesor mínimo de 2,0 mm para PE 100 y PE 80, y de 2,3 mm para PE 63, PE 40 y PE 32.

Fuente: (NTE INEN 1 744, 2009)

Tabla 2. 11: Tubos de PE 80 con esfuerzo hidrostático de diseño σ_s de 6,3 MPa.

Diámetro Nominal Exterior (mm)	Serie del tubo (S 1)				
	S 10	S 8	S 6,3	S 5	S 4
	Relación diámetro-espesor normalizada (SDR)				
	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9
	Presión nominal de trabajo PN 2) , en MPa				
	0,63	0,8	1	1,25	1,6
	Espesor nominal de pared, en mm				
16	-	-	-	-	2,0
20	-	-	-	2,0	2,3
25	-	-	2,0	2,3	2,8
32	-	2,0	2,4	2,9	3,6
40	2,0	2,4	3,0	3,7	4,5
50	2,4	3,0	3,7	4,6	5,6
63	3,0	3,8	4,7	5,8	7,1
75	3,6	4,5	5,6	6,8	8,4
90	4,3	5,4	6,7	8,2	10,1
110	5,3	6,6	8,1	10,0	12,3
125	6,0	7,4	9,2	11,4	14,0
140	6,7	8,3	10,3	12,7	15,7
160	7,7	9,5	11,8	14,6	17,9
180	8,6	10,7	13,3	16,4	20,1
200	9,6	11,9	14,7	18,2	22,4
225	10,8	13,4	16,6	20,5	25,2
250	11,9	14,8	18,4	22,7	27,9
280	13,4	16,6	20,6	25,4	31,3
315	15,0	18,7	23,2	28,6	35,2
355	16,9	21,1	26,1	32,2	39,7
400	19,1	23,7	29,4	36,3	44,7
450	21,5	26,7	33,1	40,9	50,3
500	23,9	29,7	36,8	45,4	55,8
560	26,7	33,2	41,2	50,8	62,5
630	30,0	37,4	46,3	57,2	70,3
710	33,9	42,1	52,2	64,5	79,3
800	38,1	47,4	58,8	72,6	89,3
900	42,9	53,3	66,1	81,7	-
1000	47,7	59,3	73,5	90,8	-
1200	57,2	71,1	88,2	-	-

La serie de los tubos se deriva de la relación σ_s /PN, donde σ_s es el esfuerzo de diseño a 20°C y PN es la máxima presión de trabajo de los tubos a 20°C

La mínima presión nominal considerada para los tubos a utilizarse en conducción de agua potable es 0,63 MPa y con espesor mínimo de 2,0 mm para PE 100 y PE 80, y de 2,3 mm para PE 63, PE 40 y PE 32.

Fuente: (NTE INEN 1 744, 2009)

Tabla 2. 12: Tubos de PE 63 con esfuerzo hidrostático de diseño σ_s de 5,0 MPa.

Diámetro Nominal Exterior (mm)	Serie del tubo (S) ¹⁾				
	S 8	S 6,3	S 5	S 4	S 3,2
	Relación diámetro-espesor normalizada (SDR)				
	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9	SDR 7,4
	Presión nominal de trabajo PN ²⁾ , en MPa				
	0,63	0,8	1	1,25	1,6
	Espesor nominal de pared, en mm				
16	-	-	2,3	2,3	2,3
20	-	2,3	2,3	2,3	2,8
25	2,3	2,3	2,3	2,8	3,5
32	2,3	2,4	2,9	3,6	4,4
40	2,4	3,0	3,7	4,5	5,5
50	3,0	3,7	4,6	5,6	6,9
63	3,8	4,7	5,8	7,1	8,6
75	4,5	5,6	6,8	8,4	10,3
90	5,4	6,7	8,2	10,1	12,3
110	6,6	8,1	10,0	12,3	15,1
125	7,4	9,2	11,4	14,0	17,1
140	8,3	10,3	12,7	15,7	19,2
160	9,5	11,8	14,6	17,9	21,9
180	10,7	13,3	16,4	20,1	24,6
200	11,9	14,7	18,2	22,4	27,4
225	13,4	16,6	20,5	25,2	30,8
250	14,8	18,4	22,7	27,9	34,2
280	16,6	20,6	25,4	31,3	38,3
315	18,7	23,2	28,6	35,2	43,1
355	21,1	26,1	32,2	39,7	48,5
400	23,7	29,4	36,3	44,7	54,7
450	26,7	33,1	40,9	50,3	61,5
500	29,7	36,8	45,4	55,8	-
560	33,2	41,2	50,8	62,5	-
630	37,4	46,3	57,2	70,3	-
710	42,1	52,2	64,5	79,3	-
800	47,4	58,8	72,6	89,3	-
900	53,3	66,1	81,7	-	-
1000	59,3	73,5	90,8	-	-
1200	71,1	82,2	-	-	-

La serie de los tubos se deriva de la relación σ_s/PN , donde σ_s es el esfuerzo de diseño a 20°C y PN es la máxima presión de trabajo de los tubos a 20°C

La mínima presión nominal considerada para los tubos a utilizarse en conducción de agua potable es 0,63 MPa y con espesor mínimo de 2,0 mm para PE 100 y PE 80, y de 2,3 mm para PE 63, PE 40 y PE 32.

Fuente: (NTE INEN 1 744, 2009)

Tabla 2. 13: Tubos de PE 40 con esfuerzo hidrostático de diseño σ_s de 3,2 MPa.

Diámetro Nominal Exterior (mm)	Serie del tubo (S) ¹⁾			
	S 5	S 4	S 3,2	S 2,5
	Relación diámetro-espesor normalizada (SDR)			
	SDR 11	SDR 9	SDR 7,4	SDR 6
	Presión nominal de trabajo PN ²⁾ , en MPa			
	0,63	0,8	1	1,25
	Espesor nominal de pared, en mm			
16		2,3	2,3	2,7
20	2,3	2,3	2,8	3,4
25	2,3	2,8	3,5	4,2
32	2,9	3,6	4,4	5,4
40	3,7	4,5	5,5	6,7
50	4,6	5,6	6,9	8,3
63	5,8	7,1	8,6	10,5
75	6,8	8,4	10,3	12,5
90	8,2	10,1	12,3	15,0
110	10,0	12,3	15,1	18,3

Fuente: (NTE INEN 1 744, 2009)

Tabla 2. 14: Tubos de PE 32 con esfuerzo hidrostática de diseño σ_s de 2,5 MPa.

Diámetro Nominal Exterior (mm)	Serie del tubo (S) ¹⁾			
	S 4	S 3,2	S 2,5	S 2
	Relación diámetro-espesor normalizada (SDR)			
	SDR 9	SDR 7,4	SDR 6	SDR 5
	Presión nominal de trabajo PN ²⁾ , en MPa			
	0,63	0,8	1	1,25
	Espesor nominal de pared, en mm			
16	2,3	2,3	2,7	3,3
20	2,3	2,8	3,4	4,1
25	2,8	3,5	4,2	5,1
32	3,6	4,4	5,4	6,5
40	4,5	5,5	6,7	8,1
50	5,6	6,9	8,3	10,1
63	7,1	8,6	10,5	12,7
75	8,4	10,3	12,5	15,1
90	10,1	12,3	15,0	18,1
110	12,3	15,1	18,3	22,1

Fuente: (NTE INEN 1 744, 2009)

2.4.4.3 Tabla para tuberías plásticas tubos y accesorios de PVC rígido para presión

Tabla 2. 15: Espesores Nominales Tuberías de PVC (Dimensiones en milímetros).

Diámetro nominal	Serie del tubo S									
	25	20	16	12,5	10,0	8	6,3	5	4	3,2
	Presión nominal Mpa									
	0,5	0,63	0,8	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4,0
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4
12	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	1,7
16	-	-	-	-	-	-	-	1,5	1,8	2,2
20	-	-	-	-	-	-	1,5	1,9	2,3	2,8
25	-	-	-	-	-	1,5	1,9	2,3	2,8	3,5
32	-	-	-	-	1,6	1,9	2,4	2,9	3,6	4,4
40	-	-	-	1,6	1,9	2,4	3,0	3,7	4,5	5,5
50	-	-	1,6	2,0	2,4	3,0	3,7	4,6	5,6	6,9
63	-	1,6	2,0	2,5	3,0	3,8	4,7	5,8	7,1	8,6
75	1,5	1,9	2,3	2,9	3,6	4,5	5,6	6,8	8,4	10,3
90	1,8	2,2	2,8	3,5	4,3	5,4	6,7	8,2	10,1	12,3
110	2,2	2,7	3,4	4,2	5,3	6,6	8,1	10,0	12,3	15,1
125	2,5	3,1	3,9	4,8	6,0	7,4	9,2	11,4	14,0	17,1
140	2,8	3,5	4,3	5,4	6,7	8,3	10,3	12,7	15,7	19,2
160	3,2	4,0	4,9	6,2	7,7	9,5	11,8	14,6	17,9	21,9
180	3,6	4,4	5,5	6,9	8,6	10,7	13,3	16,4	20,1	24,6
200	3,9	4,9	6,2	7,7	9,6	11,9	14,7	18,2	22,4	27,4
225	4,4	5,5	6,9	8,6	10,8	13,4	16,6	20,5	25,2	-
250	4,9	6,2	7,7	9,6	11,9	14,8	18,4	22,7	27,9	-
280	5,6	6,9	8,6	10,7	13,4	16,6	20,6	25,4	-	-
315	6,3	7,7	9,7	12,1	15,0	18,7	23,2	28,6	-	-
355	7,0	8,7	10,9	13,6	16,9	21,1	26,1	-	-	-
400	7,9	9,8	12,3	15,3	19,1	23,7	29,4	-	-	-
450	8,8	11,0	13,8	17,2	21,5	26,7	33,1	-	-	-
500	9,8	12,3	15,3	19,1	23,9	29,7	36,8	-	-	-
560	11,0	13,7	17,2	21,4	26,7	33,2	-	-	-	-
630	12,3	15,4	19,3	24,1	30,0	37,4	-	-	-	-
710	13,9	17,4	21,8	27,2	33,9	-	-	-	-	-
800	15,7	19,6	24,5	30,6	-	-	-	-	-	-
900	17,6	22,0	27,6	-	-	-	-	-	-	-
1 000	19,6	24,5	30,6	-	-	-	-	-	-	-
NOTA 1: Coeficiente de diseño (C) igual a 2, Esfuerzo hidrostático de diseño de 12,5 MPa.										
NOTA 2: Los espesores nominales de tubería se obtienen de las tablas de espesores universales de ISO 4065 en función de la serie del tubo y el diámetro nominal. En el cálculo de espesores de tubo se utiliza la ecuación de esfuerzo.										
NOTA 3: Serie 25, no aplica para uso en sistemas de agua potable.										

Fuente: (NTE INEN 1373, 2016)

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

1. Se recomienda que las variantes que se construyan a partir de una tubería de conducción sean del mismo material de ésta, evitando la mezcla de materiales.
2. Se recomienda que el diseño de una conducción nueva debe incluir un solo tipo de tubería, evitando la mezcla de materiales. En el caso de cruces de quebradas, se podrán utilizar otros materiales.

2.4.5 Especificaciones y control de calidad de tuberías para conducciones

En relación con las especificaciones técnicas de las tuberías que conforman el diseño de la línea de conducción y de sus accesorios, debe cumplirse con los requisitos establecidos en las Normas Técnicas Ecuatorianas correspondientes y, en caso de que estas no existan, con las normas ISO u otras normas técnicas equivalentes.

2.4.6 Presiones en la red de conducciones

La presión interna de diseño de las tuberías que conforman las conducciones debe calcularse como el mayor valor que resulte entre la presión estática y la máxima sobrepresión ocurrida por causas de un fenómeno de golpe de ariete, multiplicado por un factor de seguridad, de acuerdo con la Ecuación 2.5 y Ecuación 2.6:

$$P_{\max} = \max(P_{\text{estática}} \text{ ó } P_{\text{transiente}}) \quad \text{Ecuación 2.5}$$

$$P_{\text{diseño}} = K * P_{\max} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde:

P_{\max} . = Presión máxima entre la presión estática y la presión transiente (m.c.a).

$P_{\text{estática}}$ = Presión estática (m.c.a).

$P_{\text{transiente}}$ = Presión causada por fenómenos transientes (m.c.a).

$P_{\text{diseño}}$ = Presión de diseño (m.c.a).

K = Factor de seguridad (igual a 1,1 para conducciones por gravedad; igual a 1,3 para conducciones por bombeo).

La presión nominal de trabajo de las tuberías y de todos sus accesorios debe ser mayor que la presión de diseño calculada de acuerdo con la Ecuación 2.6.

En todo caso, la presión nominal de trabajo de las tuberías, válvulas y demás accesorios debe ser indicada por el fabricante considerando los factores de seguridad que considere convenientes, cumpliendo siempre con las pruebas, ensayos y normas técnicas correspondientes al material, al tipo de accesorio y/o al tipo de válvula.

En el caso de que en alguno de los trazados de las conducciones se obtengan grandes presiones, debe efectuarse un análisis técnico-económico comparativo entre la posibilidad de adoptar las tuberías con altas presiones o la alternativa de disponer válvulas reguladoras de presión y tuberías de menor presión. Siempre debe verificarse que la presión resultante sea lo suficientemente alta para alcanzar bajo cualquier condición de operación las zonas más altas del trazado.

Deberá considerarse el diseño de anclajes para las tuberías, accesorios y válvulas con la presión de diseño correspondiente a la ubicación del mismo.

La presión mínima en las tuberías de conducción, calculadas para la situación del caudal de diseño, se establece en un mínimo de 5 m de columna de agua en los puntos y condiciones más desfavorables de operación.

2.4.7 Diámetros de tuberías en la red de conducciones

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

Para el cálculo de los diámetros se deben emplear las ecuaciones generalmente aceptadas, como, por ejemplo, la fórmula de Hazen y Williams, Darcy-Weisbach, Colebrook-White, etc.

2.4.8 Velocidades en las tuberías de conducción

Teniendo en cuenta que el agua que fluye a través de las tuberías de conducción puede contener materiales sólidos en suspensión o materiales disueltos que pueden precipitarse, ambos productos de los procesos de la planta de tratamiento de agua potable o de procesos físicos y químicos en las paredes internas de la tubería, debe adoptarse una velocidad mínima de operación para estas. Se recomienda una velocidad mínima de 0,60 m/s, y para la velocidad máxima deberá verificarse que la pérdida de

carga acumulada (tubería más accesorios) no supere los 10 m de columna de agua por kilómetro de conducción (< 10 mca/km).

2.4.9 Pendientes de las tuberías de conducción

En tramos con cambio de pendiente se deberán prever la instalación de ventosas de triple acción que permitan la inclusión y evacuación del aire, especialmente en caso de sifones invertidos.

2.4.10 Profundidad de instalación de las tuberías a cota clave

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

- 1.** La profundidad de instalación de las tuberías debe establecerse considerando las solicitaciones producidas por el tráfico, así como también los cruces con otras instalaciones subterráneas.
- 2.** En cruces con vías, líneas de ferrocarril, la profundidad mínima debe ser de 1,2 m.
- 3.** Para evitar el calentamiento del agua, las tuberías deben estar enterradas por lo menos 50 cm, medidos desde la parte superior o clave de la tubería.
- 4.** En caso de que por causa de la naturaleza del terreno o por otras razones sea necesario colocar la tubería de conducción a una profundidad inferior a 0,5 m., el diseño debe prever los elementos de protección que aseguren que la misma no estará sometida a deformaciones que puedan causar roturas o afectar el funcionamiento hidráulico normal de la línea de conducción.
- 5.** En caso de que la línea de conducción se vea sometida a algún tipo de sumergencia temporal, el diseñador debe tener en cuenta que podrán ocurrir levantamientos locales debidos a la subpresión cuando la tubería se encuentre vacía, durante operaciones de mantenimiento. En este caso el diseño debe prever la colocación de las correspondientes protecciones y anclajes.
- 6.** En caso de que se utilicen tuberías plásticas sensibles a la luz ultravioleta, estas deben necesariamente estar enterradas, o por lo menos protegidas de los rayos ultravioleta con pintura color aluminio o blanco.
- 7.** Todos los pasos sobre quebradas, ríos, canales, depresiones u otras estructuras deben, en lo posible, estar enterrados con el fin de minimizar los pasos aéreos a los

estrictamente necesarios, teniendo en cuenta aspectos de seguridad, vulnerabilidad, estética y menor costo de instalación, manteniendo el mismo material de la conducción. En estos casos se debe prever la construcción de hitos de hormigón y la colocación de cintas plásticas que permitan ubicar correctamente el cruce.

2.5 DISEÑO DE LAS CONDUCCIONES

2.5.1 Cálculo hidráulico de tuberías simples

Para el diseño de las líneas de conducción debe efectuarse el estudio hidráulico del flujo a través de la tubería de conducción con el fin de determinar las presiones en cada punto de la tubería. En ningún caso se permitirán presiones manométricas negativas.

2.5.1.1 Cálculo de las pérdidas por fricción

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

$$H = 10,674 * \left[\frac{Q^{1,852}}{(C^{1,852} * D^{4,871})} \right] * L \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Donde:

L = Longitud de la tubería (m).

Q = Caudal (m³/s).

C = Coeficiente de Hazen-Williams.

D = Diámetro de la tubería (m).

Para obtener el coeficiente de Hazen-Williams utilizado en la Ecuación 2.7 se usará el coeficiente de Hazen-Williams de 120 (tabla 2.16) para todos los materiales especificados en el plan maestro de 1984 realizado por ETAPA-EP, en el caso de que no exista el coeficiente en el plan maestro para el material que se usara en el proyecto, este coeficiente deberá ser debidamente justificado por el diseñador.

Tabla 2. 16: Coeficientes de Chw para la fórmula de Hazen – Williams

Material de la Tubería	CHW
HIERRO DÚCTIL – HD	120
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD – PEAD	120
POLICLORURO DE VINILO - PVC	120

Fuente: (ETAPA-EP , 1984)

Alternativamente, el cálculo de las pérdidas de energía, debidas a la fricción en una tubería o conducto cilíndrico largo, con un interior de diámetro continuo, se podrá usar la ecuación de Darcy – Weisbach, mostrada a continuación:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

En donde:

hf = pérdida de carga distribuida en metros de columna del líquido.

D = diámetro interno de la tubería, en m.

f = coeficiente adimensional de pérdida de carga distribuida por fricción.

v = velocidad media de flujo en la sección, en m/s.

g = aceleración de la gravedad en m/s².

El coeficiente de fricción de Darcy, f, para tuberías de sección circular se obtiene utilizando las siguientes ecuaciones:

Para el caso de flujo laminar (Re < 2 000) el coeficiente de pérdida de carga puede ser determinado del diagrama de Moody o calculado por la fórmula:

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds.

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

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu} \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3).

μ = Viscosidad dinámica del fluido ($\text{Pa}\cdot\text{s}$).

v = Velocidad del fluido en (m/s).

D = Diámetro de la tubería (m).

En la Tabla 2.17 se dan los valores de la densidad y la viscosidad absoluta del agua como función de la temperatura media de ésta, los cuales deben utilizarse durante el diseño de las líneas de conducción.

Tabla 2. 17: Densidad y viscosidad del agua según la temperatura.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Densidad, ρ (Kg/m^3)	Viscosidad, μ ($\times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$)
0	999,9	1,792
5	1000,0	1,519
10	999,7	1,308
15	999,1	1,140
20	998,2	1,005
30	995,7	0,801
40	992,2	0,656
50	988,1	0,549

Fuente: (CPE INEN 5 Parte 9-1:1992, 1992)

En la zona crítica, cuando ($2\ 000 < \text{Re} < 4\ 000$), el coeficiente de pérdida de carga distribuida f , para conductos de cualquier sección y diámetro hidráulico D , con paredes lisas o rugosas se recomienda el uso de la fórmula de Colebrook - White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ecuación 2.11}$$

En donde:

k = rugosidad uniforme equivalente en mm

D = Diámetro de la tubería (m).

Este coeficiente debe considerar los siguientes factores:

- Material de fabricación de la tubería o conducto
- Proceso de fabricación de la tubería
- Naturaleza del líquido a ser conducido

- Edad del conducto o tubería (tiempo de servicio)

Se recomienda utilizar el coeficiente k de rugosidad equivalente, según lo indicado en la tabla 2.18:

Tabla 2. 18: Coeficiente k de rugosidad.

TIPO DE CONDUCTO	k
Tubería de acero nueva.	0,04 – 0,17
Tubería de acero luego de un año de servicio.	0,12
Tubería de acero vieja.	0,19
Tubería de acero con recubrimiento de cemento.	0,12 – 0,24
Tubería galvanizada nueva.	0,25
Tubería de hierro fundido nueva y con uniones bien alisadas.	0,31
Tuberías de planchas de acero soldadas y tuberías de hormigón bien alisadas.	0,33
PVC	0,007
Polietileno	0,0015

Fuente: (CPE INEN 5 Parte 9-1:1992, 1992)

2.5.1.2 Cálculo de las pérdidas menores

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

$$H_m = K * \frac{v^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

K = Coeficiente de pérdidas menores.

V = Velocidad del fluido en (m/s).

g = aceleración de la gravedad en (m/s²).

Se presenta la Tabla 2.19 con algunos coeficientes de pérdidas menores para accesorios típicos de conducciones a presión.

Tabla 2. 19: Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes.

Accesorio	K
Válvula de globo, completamente abierta	10,0
Válvula de mariposa, completamente abierta	1,2
Válvula de cheque, completamente abierta	2,5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0,2
Válvula de retención	1,5
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
Te, con reducción	0,56
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
NOTA: Para accesorios diferentes a los mostrados en la tabla anterior, el diseñador debe sustentar el coeficiente de pérdidas menores.	

Fuente: (CPE INEN 5 Parte 9-1:1992, 1992), (EPM, 2009), (CONAGUA, 1969)

2.5.2 Corrosión en tuberías

En general en el caso de tuberías metálicas, ninguna parte metálica del sistema debe estar en contacto directo con el agua, se debe utilizar recubrimiento interno y externo como se indica en el Numeral 2.5.3. En el caso de tuberías con diámetros nominales inferiores a 200 mm se deben utilizar pinturas epóxicas al interior de la tubería. En caso de que sea posible utilizar la alternativa de aceros inoxidable, ésta es la mejor opción y por consiguiente se debe utilizar. Las tuberías que llegan o salen de los tanques de almacenamiento, que lleguen hasta las válvulas, deberán ser de hierro dúctil. En caso de diámetros menores (menor o igual a 100 mm) se preferirá el acero inoxidable.

Todas las protecciones contra la corrosión tanto interna como externa en las tuberías de la conducción deben cumplir con lo estipulado en las normas AWWA o ISO. El uso de ciertos materiales en las tuberías y accesorios del sistema pueden afectar tanto las tasas de corrosión y la clase de contaminación como producto de la corrosión. Para una calidad de agua dada algunos materiales son más resistentes que otros. La tabla a continuación muestra el orden relativo de actividad de algunos metales comúnmente utilizados y de sus aleaciones. Cuando los metales son corroídos químicamente en el agua, el mecanismo compromete algunos aspectos de electroquímica. Reacciones

similares ocurren cuando dos metales diferentes entran en contacto directo a través de una solución conductora por lo que debe evitarse esta mezcla de materiales cuando se realice las conexiones. Tal conexión se la denomina " PAR GALVÁNICO" y es la base de la estimación más frecuente en la utilización de materiales apropiados como se muestra en la tabla 2.20.

Tabla 2. 20: Serie Galvánica.

METAL	ACTIVIDAD
Zinc	Más activo
Acero Carbono	
Hierro dúctil	
Plomo	
Bronce	
Cobre	
Acero inoxidable	Menos activo

Fuente: (Sarmiento, 1999)

2.5.3 Recubrimientos y protección de Tuberías

2.5.3.1 Recubrimientos externos

El diseño de las tuberías de la red de conducciones debe incluir un análisis sobre el recubrimiento externo y la protección de las tuberías. Los revestimientos de las tuberías pueden ser: polietileno o polipropileno, resina epóxica, mortero de cemento, etc. Las tuberías de hierro dúctil deben encapsularse en manga de polietileno para aislarlas de las corrientes eléctricas parásitas, siguiendo lo establecido en el manual AWWA M27 "External Corrosión - Introduction to Chemistry And Control".

En todo caso, ETAPA-EP debe aprobar los recubrimientos externos contenidos en el diseño de la red de conducción. Las siguientes normas describen algunos recubrimientos externos para diferentes materiales de tuberías, tabla 2.21.

Tabla 2. 21: Normas para Recubrimientos externos.

NORMA	NOMBRE
AWWA Manual M41	Ductile-Iron Pipe and Fittings.
AWWA Manual M27	External Corrosion - Introduction to Chemistry And Control.
AWWA C105/A 21.5	Polyethylene Encasement for Ductile-Iron Pipe Systems.
AWWA C303 versión 2002.	Concrete pressure pipe, bar-wrapped, steel-cylinder type
ISO 2531.	Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water or gas applications
ISO 8179-2:1995 confirmed 2010.	Ductile iron pipes. External zinc coating. Part 2. Zinc rich paint with finishing layer
NOTA: Las normas hacen referencia a la versión vigente a la fecha.	

Fuente: (EPM, 2009)

2.5.3.2 Recubrimientos internos

El diseño de las tuberías y accesorios de la red de conducciones debe incluir un análisis sobre el recubrimiento interno y la protección de las tuberías, el cual debe ser previamente aprobado por las Empresa Publica ETAPA-EP. En el caso de que estos elementos no cuenten con recubrimiento de mortero, generalmente para diámetros reducidos, estos deberán contar con recubrimiento de pintura epóxica que cumplan la normativa NSF 61, y un espesor mínimo de 10 mils o 254 micrones. En general se podrán usar los materiales que se describen en las siguientes normas, con el fin de proteger internamente las tuberías, tabla 2.22.

Tabla 2. 22: Normas para Recubrimientos internos.

NORMA	NOMBRE
AWWA C104/A21.4	Cement-Mortar Lining for Ductile-Iron Pipe and Fittings for Water
AWWA C116/A 21.16	Protective Fusion-Bonded Epoxy Coatings Int. & Ext. Surf. Ductile-Iron/Gray-Iron Fittings
AWWA D104	Automatically Controlled, Impressed-Current Cathodic Protection for the Interior of Steel Water Tanks
AWWA C550	Protective Epoxy Interior Coatings for Valves and Hydrants
NOTA: Las normas hacen referencia a la versión vigente a la fecha.	

Fuente: (EPM, 2009)

2.5.4 Accesorios y estructuras para las tuberías de conducción

2.5.4.1 Aspectos generales

En todo diseño de conducciones, nuevas o en ampliaciones, el diseñador debe analizar la necesidad de uso de dispositivos de protección para la línea. Estos dispositivos tendrán el objetivo de controlar la sobrepresión y subpresión en los diferentes puntos de la red de conducciones.

Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de las tuberías, el diseño debe contemplar diversos elementos, según las necesidades de cada caso. Las válvulas que deben utilizarse en la conducción, ya sea en conducción por gravedad o por bombeo, deben responder a las diferentes necesidades del proyecto específico. En todos los casos, el diseñador debe verificar que los accesorios y las estructuras complementarias colocados en la línea de conducción tengan un comportamiento adecuado con respecto a posibles problemas de cavitación.

Por la configuración del sistema, sin excepción, todas las bridas para accesorios y las válvulas deben ser perforadas bajo norma ISO 7005-2.

Las tuberías de conducción deberán diseñarse considerando las siguientes instalaciones:

- Válvulas para la interrupción del servicio, por tramos.
- Válvulas de purga de aire y Ventosas para la extracción del aire.
- Válvulas de vaciado.
- Válvulas de cheque.
- Válvulas de protección contra golpe de ariete
- Válvulas de flujo o paso anular
- Válvulas de cono o chorro hueco
- Cámaras rompe presión.
- Bocas de acceso
- Bocas de inspección
- Estación para medición de caudal
- Apoyos y anclajes.
- Codos, tees, reducciones y otros accesorios en conducciones

En tuberías de presión por gravedad, se debe considerar la instalación de cámaras rompe presión o de accesorios que permitan garantizar su funcionamiento en cualquier régimen, sin sobrepasar las presiones admisibles, y según el tipo de tubería elegida.

2.5.4.2 Válvulas de interrupción del servicio o de corte, por tramos

Estas válvulas deben localizarse al comienzo y al final de cada tramo de mantenimiento que permitan realizar labores de mantenimiento o reparación y el llenado de la tubería por tramos. En todos los casos el diseño debe hacer un estudio de los transientes hidráulicos ocasionados por la operación de las válvulas en el sistema y debe incluir unas recomendaciones de operación.

En caso de que la tubería presente grandes desniveles, se debe verificar que, para la condición de cierre de la válvula de corte, la presión en el punto más bajo no supere la presión de diseño establecida en el Numeral 2.4.6 de esta guía.

Las válvulas deben cumplir con las correspondientes normas técnicas internacionales.

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

Tabla 2. 23: Normas Técnicas para las válvulas de corte y vaciado.

Tipo de válvula	Normas
Válvulas de mariposa	AWWA C504
Válvulas esféricas	AWWA C 507
Válvulas de flujo anular	AWWA C207

Fuente: (EPM, 2009)

2.5.4.3 Válvulas de purga de aire o ventosas

Las válvulas de purga de aire, de accionamiento automático, deben instalarse sistemáticamente en los puntos altos de las conducciones, a fin de eliminar cualquier formación de bolsas de aire o vacíos que eventualmente se acumula en la conducción durante su funcionamiento o cuando se procede a su llenado o vaciado.

Se debe ubicar también válvulas de purga de aire, en la parte superior de los tramos de mantenimiento, y su accionamiento puede ser manual.

De igual forma, cuando la tubería tenga una pendiente muy baja ($\leq 3\%$) se debe colocar una válvula de purga de aire cada 500 m. Dichos dispositivos deben permitir también la entrada automática de aire durante las operaciones de descarga de la tubería o cuando el caudal de agua se disminuya por causa de una rotura, de maniobras o de paradas en el flujo de la tubería. El diseño debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Podrá utilizarse una válvula única para atender la entrada y la salida de aire, siempre y cuando dicho dispositivo sea capaz de atender ambas funciones.
2. Las válvulas de purga de aire a partir de diámetros mayores o iguales a 2 pulgadas deben ser bridadas según norma ISO, y con cuerpo fundido en hierro dúctil. En el caso de diámetros menores podrán utilizar válvulas roscadas NPT, y en otros materiales.

3. Cuando en la conducción se encuentre una válvula de línea, debe existir una válvula de purga de aire aguas abajo, para llenado y descarga de ésta.
4. Toda válvula de purga de aire debe disponer de válvula de corte, para aislar de la tubería principal.
5. Cada válvula debe estar protegida por una cámara de inspección accesible, con su respectivo drenaje de aguas y los respiraderos necesarios para garantizar el flujo de aire y completamente asegurada.
6. Los dispositivos de entrada de aire deben localizarse de tal modo que no se introduzca agua extraña al sistema. Los dispositivos previstos deben instalarse de tal manera que sus aperturas se sitúen por lo menos un metro (1,0 m) por encima del nivel máximo de agua que pudiera acumularse en el sitio de la cámara de la válvula.
7. Deben disponerse puntos intermedios para la entrada de aire en la tubería cuando la línea piezométrica correspondiente a la carga de un tramo del conducto durante operaciones de mantenimiento y/o reparación, se sitúe por debajo de éste, de forma tal que cause problemas de discontinuidad en la columna líquida o problemas de posible colapso de la tubería por aplastamiento.
8. Las válvulas de admisión y expulsión de aire deberán ser escogidas según los siguientes criterios:

Válvulas de Aire Simple

La capacidad del orificio purgador de la válvula de aire simple o, de una válvula de aire combinada (orificio menor), cuya función se orienta a eliminar de la red el aire, durante su operación normal, se determina en base a la relación que se recomienda en la literatura técnica (Mateos, 1989)

Tabla 2. 24: Relación entre el caudal de agua en la tubería y la capacidad del purgador de aire simple

CAUDAL, Tubería	Q Purgador
$0 < Q < 75 \text{ l/s}$	6% Q
$75 < Q < 150 \text{ l/s}$	5% Q
$150 < Q < 350 \text{ l/s}$	2% Q
$350 < Q < 3500 \text{ l/s}$	1,5% Q
$3500 < Q$	1,2% Q

Fuente: (Mateos, 1989)

Con el valor de caudal de aire determinado, y considerando la presión dinámica en la línea de agua (Mateos, 1989) se ingresa en los ábacos de los fabricantes para la selección de las dimensiones de las válvulas de purga de aire simple. Alternativamente se podrá asumir las dimensiones de estas válvulas, de acuerdo con la tabla siguiente:

Tabla 2. 25: Dimensiones de válvulas de aire simple, en relación con el diámetro nominal de la tubería, en la cual va instalada

Tubería DN	Caudal del purgador simple de aire (CAE)		Diámetro orificio purgador		Diámetro. Entrada de la válvula.	
			(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)
63 PVC	0,10 l/s	0,006 m ³ /min	1/16	1,56 mm	1pulg	25 mm
90 PVC	0,30 l/s	0,018 m ³ /min	1/16	1,56 mm	1pulg	25 mm
110 PVC	0,51 l/s	0,031 m ³ /min	1/16	1,56 mm	1pulg	25 mm
160 PVC	1,36 l/s	0,082 m ³ /min	1/16	1,56 mm	1pulg	25 mm
200 PVC	2,44 l/s	0,146 m ³ /min	1/8	3,12 mm	1pulg	25 mm
315 PVC	3,14 l/s	0,188 m ³ /min	3/16	4,69 mm	2pulg	50 mm
400 HD	7,26 l/s	0,436 m ³ /min	7/32	5,47 mm	2pulg	50 mm
500 HD	9,79 l/s	0,587 m ³ /min	7/32	5,47 mm	2pulg	50 mm
600 HD	15,81 l/s	0,949 m ³ /min	7/32	5,47 mm	2pulg	50 mm
700 HD	23,71 l/s	1,423 m ³ /min	7/32	5,47 mm	2pulg	50 mm
800 HD	33,69 l/s	2,021 m ³ /min	7/32	5,47 mm	2pulg	50 mm
900 HD	45,92 l/s	2,755 m ³ /min	1/4	6,25 mm	3pulg	75 mm
1000 HD	48,46 l/s	2,908 m ³ /min	1/4	6,25 mm	3pulg	75 mm

Fuente: (Mateos, 1989)

Calculo de la capacidad de expulsión y admisión de aire (válvulas combinadas) y triple acción.

De acuerdo a la literatura técnica (Mateos, 1989) se considera de igual magnitud el caudal de expulsión y admisión de aire durante el llenado y vaciado de la tubería respectivamente, e igual al caudal de llenado de la tubería, que en los conductos a gravedad (circulares) viene dado por la siguiente relación:

$$Q = \frac{\sqrt{(PD^5)}}{1000}$$

Donde:

Q = caudal en l/s

P = pendiente en mm/m

D = diámetro de la tubería en mm

Con el valor de caudal de aire determinado, y considerando una presión diferencial máxima de 1,5 m.c.a (Mateos, 1989) admitido como límite permisible en la tubería, se ingresa en los ábacos de los fabricantes para la selección de las dimensiones de las válvulas combinadas. Alternativamente se podrá asumir las dimensiones de las válvulas combinadas, de acuerdo con la tabla siguiente:

Tabla 2. 26: Dimensiones de válvulas de aire combinado y triple acción, determinados en relación con el diámetro nominal de la tubería, en la cual va instalada.

Tubería DN	Caudal admisión / expulsión de aire		Caudal orificio purgador (CAE)		DIMENSIONES VALVULAS AIRE COMBINADA		DIMENSIONES VALVULAS AIRE TRIPLE ACCION		
	l/s	m ³ / min	l/s	m ³ / min	pulg	mm	pulg	mm	
63 PVC	1,6	0,1	0,1	0,0	1 "	25	1" X 5/64"	25 X 1,95	Roscado (NPT)
90 PVC	5,0	0,3	0,3	0,0	1 "	25	1" X 5/64"	25 X 1,95	Roscado (NPT)
110 PVC	8,5	0,5	0,5	0,0	1 "	25	1" X 5/64"	25 X 1,95	Roscado (NPT)
160 PVC	22,6	1,4	1,4	0,1	1 "	25	1" X 5/64"	25 X 1,95	Roscado (NPT)
200 PVC	40,7	2,4	2,4	0,1	1 "	25	1" X 5/64"	25 X 1,95	Roscado (NPT)
315 PVC	156,9	9,4	3,1	0,2	2 "	50	2" X 3/16"	50 X 4,76	BRIDA
400 HD	362,9	21,8	7,3	0,4	3 "	75	3" X 7/32"	75 X 5,55	BRIDA
500 HD	652,6	39,2	9,8	0,6	4 "	100	4" X 7/32"	100 X 5,55	BRIDA
600 HD	1054,1	63,2	15,8	0,9	6 "	150	6" X 7/32"	150 X 5,55	BRIDA
700 HD	1580,9	94,9	23,7	1,4	6 "	150	6" X 7/32"	150 X 5,55	BRIDA
800 HD	2246,0	134,8	33,7	2,0	8 "	200	8" X 7/32"	200 X 5,55	BRIDA
900 HD	3061,4	183,7	45,9	2,8	8 "	200	8" X 1/4"	200 X 6,35	BRIDA
1000 HD	4038,7	242,3	48,5	2,9	10 "	250	10" X 1/4"	250 X 6,35	BRIDA

Fuente: (Mateos, 1989)

9. Como dispositivos automáticos para la entrada o salida de aire de las líneas de conducción pueden utilizarse los siguientes:

- a. Válvulas de purga de aire de doble acción para la descarga del aire acumulado durante el llenado y durante la operación normal de la conducción y para la entrada en las operaciones de descarga de agua. Se preferirán las del tipo anti golpe de ariete.
- b. Tubos verticales o chimeneas cuando su extremidad superior pueda situarse por encima de línea piezométrica máxima para la entrada de aire. Estos dispositivos podrán utilizarse en la salida de los tanques de reserva.

10. Las válvulas de purga de aire deben cumplir con la norma AWWA C512. Deberá verificarse las normas de las bridas con que se conecte a la tubería o dentro de cámaras para la conducción.

2.5.4.4 Válvulas de vaciado

Las válvulas de vaciado se instalarán al final de cada tramo de mantenimiento, así como también en los puntos bajos de la tubería de conducción, donde se prevea su utilización para lavado. En estos casos deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La instalación de válvulas de vaciado en los puntos bajos de la conducción debe permitir el vaciado total del tramo de la tubería.
2. Se recomienda que el diámetro de la tubería de desagüe esté entre $1/3$ y $1/4$ del diámetro de la tubería principal, con un mínimo de 100 mm para tuberías mayores que 100 mm. Para diámetros menores debe adoptarse el mismo diámetro de la tubería principal.
3. Deberá evaluarse la velocidad de salida de la válvula de vaciado, y en caso de requerirse, se deberá contemplar los dispositivos de disipación de energía adecuados.
4. Cada válvula debe estar protegida con una cámara de inspección accesible con su respectivo drenaje. Se debe seguir lo establecido en el Numeral 2.5.5.1 de esta guía. Así también se deberá dimensionar los anclajes de todos los componentes de acuerdo con el numeral 2.5.4.13.
5. Las válvulas de desagüe o vaciado deben ser de tipo esféricas y deben cumplir con las normas AWWA o ISO. Deberá considerarse que estas cuenten con un mecanismo

adecuado que permita su apertura y cierre, de acuerdo a la presión a la que estén expuestas para evitar golpe de ariete.

2.5.4.5 Válvulas anti reflujo

En el caso de que la línea de conducción corresponda a la línea de impulsión de un bombeo, el diseño debe contemplar el colocar válvulas check 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 antireflujo sencillas o de doble acción deben cumplir con las normas AWWA C508, AWWA C510, y debe verificarse que estas no produzcan golpe de ariete.

2.5.4.6 Válvulas de protección contra golpe de ariete

Se instalarán en las conducciones, aparatos anti golpe de ariete (tipo válvulas de descarga), estas válvulas deben instalarse en tuberías de conducción por bombeo, cuando se espere que la sobre presión ocasionada por el cierre o apertura de una válvula, sea mayor que la presión de trabajo de la tubería con el fin de proteger las bombas y las tuberías correspondientes.

Estas válvulas deben garantizar su apertura automática, cuando la presión sobrepase el valor fijado, y que, además, se cierren lentamente, para evitar golpes de retorno.

Las medidas de protección contra el golpe de ariete deben considerarse en los siguientes casos:

- 1.** Interrupción imprevista del funcionamiento de las bombas, que produzcan la interrupción brusca del suministro del agua.
- 2.** Cierre mecanizado de válvulas, cuando se desconecta la conducción o un tramo de ella.
- 3.** Apertura o cierre brusco de las válvulas de admisión a la conducción.

Las sobre presiones producidas por el golpe de ariete deben determinarse en base a cálculos hidráulicos, para condiciones normales y críticas de funcionamiento. En base a los resultados de estos cálculos se asumirán los medios de defensa, que garanticen la protección de la tubería elegida, para las presiones normales de trabajo.

Se permitirá el uso de tuberías de clase superior, en aquellos casos, en que su incremento de costo sea menor que el costo de los medios de protección necesarios para contrarrestar el golpe de ariete.

En calidad de medios de defensa contra el golpe de ariete, provocado por el cierre o arranque brusco de las bombas, se pueden utilizar los siguientes:

1. Instalación de accesorios para la extracción del aire.
2. Instalación de cámaras de aire, al inicio de la conducción, que atenúen el golpe de ariete.

Cuando estos dispositivos se encuentren en una línea de agua tratada, la descarga deberá realizarse hacia el centro de reserva o cárcamo de bombeo, para evitar pérdidas.

2.5.4.7 Válvulas de flujo o paso anular

Estas válvulas deben ubicarse a la salida de la tubería forzada donde deberá contar con las características adecuadas para regular el flujo y ajustar hasta los valores deseados.

Estas válvulas pueden tener o no regulación de presión. Las válvulas con regulación de presión cuentan con dispositivos para reducir la presión a la entrada de los tanques de almacenamiento. Las válvulas sin regulación de presión no tienen ese tipo de dispositivos y son utilizadas en puntos intermedios de las conducciones o en entradas a tanques con presiones bajas, siempre y cuando el flujo sea unidireccional. Estas válvulas deben tener un obturador interior en forma de émbolo que se mueva axial y perpendicularmente al asiento, para dejar un paso anular al agua en cualquier posición. El diseño del sistema obturador debe ser tal que pueda desplazarse el émbolo sin problemas ante una posible incrustación de sólidos en el órgano disipador.

2.5.4.8 Válvulas de cono o chorro hueco

Para el caso de las estructuras de descarga de las líneas de conducción, con el objeto de vaciar la tubería o producir las velocidades necesarias para el desprendimiento de biopelículas o de depósitos inorgánicos al interior de la tubería en operaciones de lavado, el diseño debe contemplar la instalación de válvulas de cono o chorro hueco acompañadas de sus correspondientes estructuras de disipación de energía y canales de descarga a los cuerpos receptores.

Este tipo de válvulas son generalmente usadas para descargar el agua de forma superficial a los canales y/o cuerpos receptores. Sin embargo, pueden ser instaladas bajo tierra cuando el nivel de agua, en la zona aguas abajo, se encuentre por encima del nivel de instalación de la válvula. En este caso se debe tener una estructura de disipación para airear el flujo y evitar inestabilidades hidráulicas. Para determinar el tamaño de las válvulas se deben tener en cuenta dos factores; el caudal máximo de descarga y la mínima altura disponible en la entrada de la válvula.

2.5.4.9 Cámaras rompe presión

Estas cámaras tienen por objeto reducir la presión aguas abajo de las mismas hasta el valor de la presión atmosférica, con el fin de limitar las presiones en las instalaciones localizadas aguas abajo de la línea de conducción. El diseño debe contemplar la instalación de este tipo de cámaras cuando se haya seleccionado como la alternativa óptima en una tubería de baja presión.

Las cámaras rompe presiones deben diseñarse para satisfacer las siguientes condiciones:

1. Crear un volumen de reserva de agua, suficiente como para satisfacer demandas instantáneas y abatimientos bruscos de nivel, producidos por la apertura de alguna válvula ubicada aguas abajo.
2. Impedir la entrada de aire a la tubería.
3. Impedir el ingreso a la tubería de cuerpos flotantes y otros materiales que puedan caer en la cámara.
4. Desalojar automáticamente el agua, en caso de que se produzca el cierre brusco de alguna válvula ubicada aguas abajo.
5. Proporcionar una transición adecuada, que una la estructura prismática de la cámara con la tubería, minimizando las pérdidas de carga localizadas.

2.5.4.10 Materiales para las válvulas

El diseño debe asegurar que los materiales con los cuales se construyan las válvulas, tanto en su cuerpo como en su mecanismo de cierre, cumplan con todas las especificaciones técnicas reconocidas tanto a nivel nacional como internacional, en función de las características del agua, tales como el grado de agresividad y otros, así

como de las presiones de servicio más los factores de seguridad requeridos. Los cuerpos de las válvulas serán de hierro dúctil, salvo que por razones especiales del diseño se justifique otro material de características superiores; en el caso de los obturadores su material será según corresponda el tipo de válvula y la norma que rige su diseño, según tabla 2.22.

Los revestimientos internos para las válvulas y sus mecanismos deben ajustarse a la norma AWWA C550.

2.5.4.11 Bocas de acceso

En caso de que la tubería de la conducción tenga un diámetro nominal igual o superior a 900 mm, el diseño debe contemplar bocas de acceso con un diámetro mínimo de 0,6 m. Las bocas de acceso deben localizarse preferiblemente junto a válvulas de control, a válvulas de vaciado o a cruces bajo interferencias en las cuales no sea aconsejable instalar válvulas de vaciado.

Las bocas de acceso deben tener las especificaciones dadas en las normas AWWA o ISO.

2.5.4.12 Estación para medición de caudal

Desde el diseño se deben contemplar los sitios de salidas para mediciones piezométricas y de caudal, los cuales pueden ser para uso permanente, mediante el uso de data loggers y/o telemetría, o para uso esporádico.

Deben existir al comienzo y al final de la línea de conducción

2.5.4.13 Apoyos y anclajes

El diseño debe prever la ubicación de los apoyos y anclajes de seguridad necesarios, ya sea en concreto (simple, reforzado o ciclópeo, o metálicos) y en todos los sitios donde haya necesidad de mantenimiento o reemplazo de algún equipo, como en el caso de válvulas de corte o válvulas especiales, de tal forma que se garantice la inmovilidad de la tubería tomando en consideración las siguientes recomendaciones:

1. Cuando se utilice tubería de hierro dúctil, hay que prever un apoyo por cada tubo, el mismo que debe ubicarse detrás del enchufe o campana.
2. Los anclajes, destinados a impedir el movimiento de la tubería, deben prever uniones móviles al inicio del ramal descendente.

3. En el diseño de anclajes, se debe considerar todas las fuerzas transmitidas por la tubería y equilibrarlas, a fin de garantizar su permanencia inamovible.

Se debe considerar las siguientes fuerzas y sollicitaciones:

- a) Componente del peso de la tubería, normal al eje.
- b) Componente del peso de la tubería, paralela al eje de la misma, que tiende a producir su deslizamiento hacia el anclaje.
- c) Rozamiento en los apoyos, que actúa hacia el anclaje, produciendo compresión o tracción, por cambios de temperatura.
- d) Fuerza paralela al eje de la tubería, debido al rozamiento en la prensa estopa, ubicada en la junta de dilatación o unión móvil.
- e) Fuerza de arrastre del agua, en dirección al movimiento de la misma.
- f) Fuerza centrífuga, producida por el cambio de dirección. La dirección de esta fuerza coincide con la bisectriz del ángulo formado por los dos ramales de la tubería.

5. En tuberías expuestas a la intemperie, que requieran estar apoyadas en soporte, o unidas a formaciones naturales de la roca (mediante anclajes metálicos).

6. En los cambios de direcciones, tanto horizontales como verticales, de tramos enterrados o expuestos, siempre que el cálculo estructural de la tubería lo justifique.

7. En puntos de cambio de diámetro de la tubería o en dispositivos para el cierre o la reducción de flujo en tuberías discontinuas.

8. Cuando las conducciones deban ir por zonas públicas, el cálculo del tamaño de los anclajes por empujes laterales o verticales podrá tener en cuenta que parte de los empujes es absorbida por la fricción de la tubería contra el suelo.

9. Sobre presiones por golpe de ariete.

10. Análisis de subpresiones cuando los anclajes serán instalados en zonas con nivel freático alto o con variaciones temporales de nivel.

En casos de existencia de subpresiones variables por temporalidades lluviosas se usarán restrictores mecánicos en cámaras especialmente diseñadas para el efecto. Los restrictores pueden tener las siguientes características:

Especificaciones sugeridas

- Los dispositivos de retención para tuberías de PVC deben incorporar una serie de estrías en el diámetro interior para proporcionar una restricción positiva, un ajuste exacto, un contacto de 360° y un soporte de la pared de la tubería.



Figura 2. 4: Brida sujeción para tuberías de PVC utilizado con empalmes mecánicos / accesorios de presión.

Fuente: (FORD METER BOX COMPANY, INC., 2010)

- Los dispositivos de restricción para las juntas de campana y espiga de la tubería de PVC consistirán en un anillo de restricción dividido instalado en la espiga, conectado a un anillo de respaldo sólido sentado detrás de la campana. El anillo de respaldo sólido debe tener un borde delantero biselado para asegurar un ajuste exacto entre el timbre de la tubería.



Figura 2. 5: Brida de sujeción para juntas de campana de PVC.

Fuente: (FORD METER BOX COMPANY, INC., 2010)

- Los dispositivos de restricción para tuberías de PVC y accesorios de presión de PVC consistirán en un anillo de restricción dividido instalado en la espiga, conectado a un anillo de seguridad dividido que se asienta entre la carrera de la junta de la conexión. Las dos mitades del anillo de respaldo dividido formarán un borde delantero biselado para asegurar el ajuste exacto detrás de la pista de gas con el adaptador.

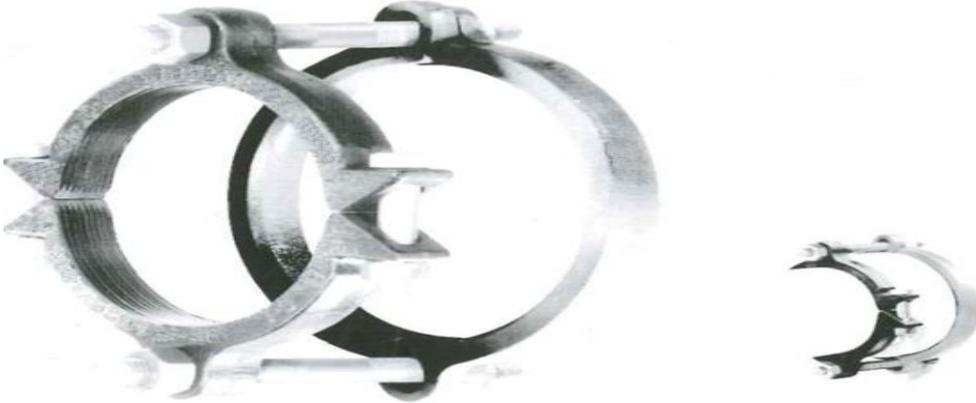


Figura 2. 6: Brida de sujeción para accesorios de presión de PVC.
Fuente: (FORD METER BOX COMPANY, INC., 2010)

- Los dispositivos de retención para las juntas de campana y espiga de la tubería de PVC consistirán en anillos de retención partidos, uno instalado en la espiga, conectado a uno instalado en el barril de la tubería detrás de la campana. Los dispositivos de restricción deben incorporar una serie de ranuras en el diámetro interior para proporcionar una restricción positiva, ajuste exacto, contacto 360° y soporte de la pared de la tubería.



Figura 2. 7: Brida de sujeción para juntas de campana de PVC.
Fuente: (FORD METER BOX COMPANY, INC., 2010)

Todos estos dispositivos deben fabricarse de hierro dúctil de alta resistencia, ASTM A536, Grado 65-45-12 o acero estructural ASTM A36. Los pernos y los accesorios de conexión deben ser de material de baja aleación de alta resistencia de acuerdo con ANSI / AWWA C111 / A21.11. Deben tener una presión nominal de trabajo de agua equivalente a la presión nominal total de la tubería de PVC en la que están instalados, con un factor de seguridad mínimo de 2:1 en cualquier tamaño nominal de tubería.

- En tuberías de hierro dúctil la restricción para juntas mecánicas estandarizadas se incorporará en el diseño de la glándula seguidora e impartirá múltiples puntos de acción de cuña contra la tubería, aumentando su resistencia a medida que aumenta la presión. La junta ensamblada debe mantener su flexibilidad después del entierro y debe mantener su integridad mediante una expansión controlada y limitada de cada junta durante la acción de acuñación. Las glándulas de restricción deben fabricarse con hierro dúctil de alta resistencia que cumpla con los requisitos de ASTM A536, Grado 65-45-12. Las cuñas deben contornearse para que se ajusten correctamente a la tubería y deben fabricarse de hierro dúctil, tratadas térmicamente a una dureza mínima de 370 BHN. Las dimensiones de los prensaestopas deben ser tales que se puedan usar con los tornillos de cabeza articulada y de unión mecánica estandarizados conforme a los requisitos de ANSI / AWWA C111 / A21.11 y ANSI / AWWA C 153 / A21.53 de la última revisión. Se deben incorporar cabezales de retorcido en el diseño de los tornillos de accionamiento de cuña para garantizar un par de torsión adecuado. El dispositivo mecánico de restricción de la junta tendrá una presión nominal de trabajo de agua de 250 psi como mínimo con un factor de seguridad de al menos 2:1 contra la separación cuando se analice en una situación de punto muerto.



Figura 2. 8: Brida de accionamiento de cuña, casquillo de sujeción, junta de sujeción para tubo de hierro dúctil.

Fuente: (FORD METER BOX COMPANY, INC., 2010).

- En tuberías de hierro dúctil la restricción para las campanas de empuje de la tubería de hierro dúctil consistirá en un casquillo de retención de acción de cuña instalado en la espiga de la tubería, conectado a un anillo de respaldo de hierro dúctil instalado detrás de la campana de la tubería. El limitador de acción de cuña debe ser fabricado de hierro dúctil de alta resistencia, ASTM A536, Grado 65-45-12. Las cuñas deben ser tratadas térmicamente a un mínimo de 370 BHN y contorneadas para que se ajusten correctamente a la tubería. Las cabezas de los tornillos de accionamiento de cuña deben girarse al par recomendado, asegurando una instalación correcta. Las bielas y tuercas deben ser de alta resistencia, material de baja aleación que cumpla con la norma ANSI / AWWA C111 / A21.11. El anillo de respaldo debe ser de hierro dúctil de alta resistencia, ASTM A536, grado 65-45-12. Los sujetadores para empalmes de presión de tuberías de hierro dúctil deben tener una presión de trabajo de agua de 350 psi en tamaños de 3" a 16", 250 psi en tamaños de 14" a 36".

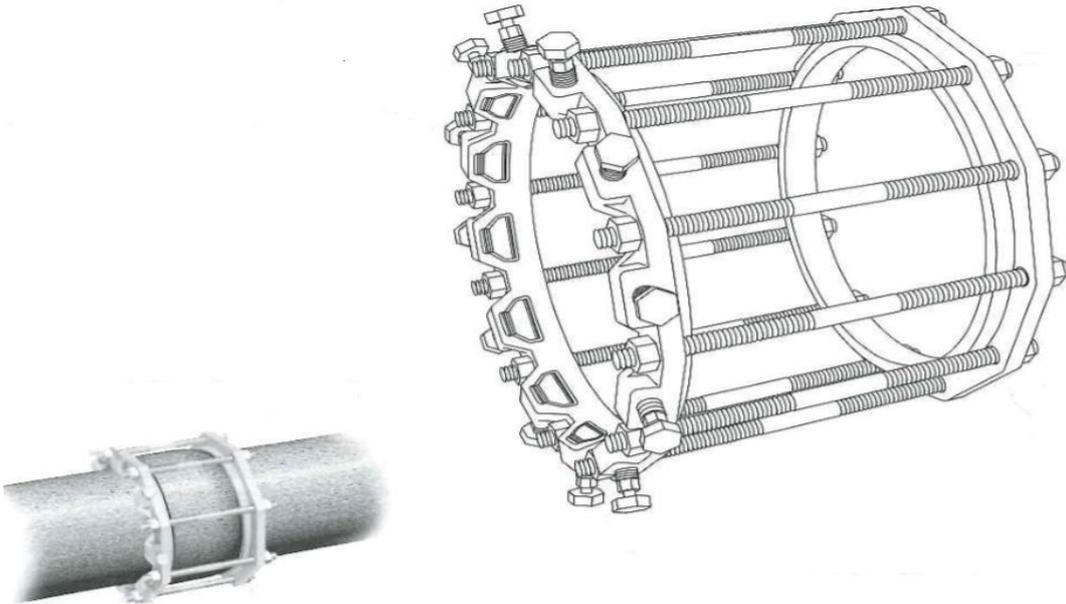


Figura 2. 9: Brida de Limitación de acción de cuña para juntas de empuje de tubería de hierro dúctil (Solo para nuevas instalaciones).

Fuente: (FORD METER BOX COMPANY, INC., 2010).

Los anclajes deberán ser comprobados para cambios operativos de la red, como cierre de válvulas, cierre de tramos de la conducción y otros escenarios de operaciones especiales de mantenimiento. En particular se deben tener en cuenta aquellos casos en los cuales estas operaciones impliquen la salida de operación de una o varias de las líneas de conducción de la red de conducciones de la Empresa Pública ETAPA-EP, otros escenarios de operaciones de emergencia, que impliquen la salida de operación de una o varias de las líneas de conducción de la red de conducciones, escenarios de lavado de ciertas líneas de conducción de la red de conducciones. En todos los casos es necesario verificar que los efectos sobre las velocidades no impliquen que en algún punto de las tuberías de la red de conducciones se duplique la velocidad de diseño o que en alguna de ellas ocurra un cambio de dirección del flujo que generen presiones no consideradas en el diseño de los anclajes.

2.5.4.14 Juntas móviles

El diseño debe prever juntas móviles en las conducciones donde se determine su necesidad con el fin de absorber deformaciones del suelo en el cual se encuentran instaladas.

Para la implementación de las juntas móviles se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. En las tuberías cuyas juntas no puedan compensar los desplazamientos provocados por los cambios de temperatura del agua o del aire, o por condiciones vinculadas a los suelos.
2. En las tuberías de hierro dúctil instaladas en el interior de galerías o canales, entre apoyos fijos. El espaciamiento entre juntas debe determinarse en base a cálculos estáticos.
3. En las tuberías instaladas sobre terrenos compresibles.
4. Cuando la conducción se instale dentro de una zanja, se debe considerar juntas móviles, en los lugares de acople a accesorios de hierro dúctil.
5. Cuando la tubería de hierro dúctil, y se instale enterrada dentro de una zanja, las juntas móviles deberán estar dentro de pozos.
6. Análisis de subpresiones cuando las juntas móviles sean instaladas en zonas con nivel freático alto o con variaciones temporales de nivel.

2.5.4.15 Codos, tees, reducciones y otros accesorios en conducciones

Para las tuberías con juntas elásticas, los accesorios deben fabricarse por el productor de la tubería o en su defecto, deben existir en el mercado otros materiales que permitan su instalación con adaptadores, teniendo en cuenta todas las normas nacionales e internacionales vigentes, las cuales se muestran referenciadas en la Tabla 2.27.

Tabla 2. 27: Normas Técnicas de los accesorios según el material.

Material	Normas
Hierro dúctil • Revestimiento mortero centrifugado • Uniones • Uniones campana-espigo • Bridas	AWWA C 104 AWWA C 111 AWWA C 115 ISO 2531 ISO 2230 ISO 4633
PVC • Uniones mecánicas • Empaques de caucho • Accesorios soldados o roscados	ASTM D 3139 ASTM F 477 ASTM D 2466
Polietileno	ASTM D 2609 ASTM D 2683 ASTM D 3261

Fuente: (EPM, 2009)

2.5.4.16 Uniones de reparación y otros accesorios en conducciones

1. Uniones mecánicas

Las uniones mecánicas serán de hierro dúctil y deben ser fabricadas bajo norma ISO 2531, para las presiones indicadas.

Las uniones estarán destinadas a redes de distribución de agua potable por lo tanto sus componentes, cualesquiera que sean estos, no deben tener influencia nociva en la calidad del agua que transportan.

Todas las uniones tendrán juntas elastoméricas estándar y serán del tipo –paso total y tendrán la siguiente configuración:

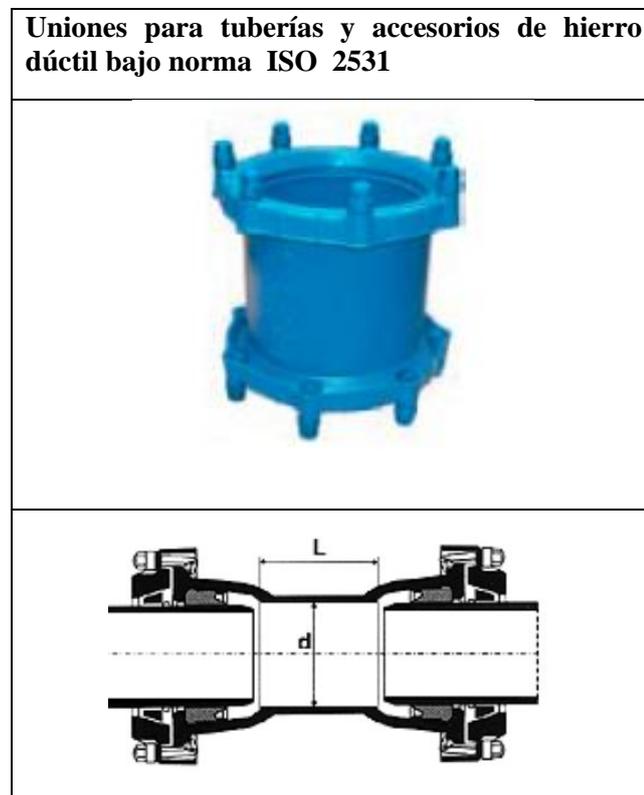


Figura 2. 10: Uniones para tuberías y accesorios de hierro dúctil bajo norma ISO 2531

Las uniones con norma ISO estarán formadas de tres partes, un manguito de reparación según diámetro estándar y dos contra-bridas cerradas con bulones, todas las partes serán de hierro dúctil.

DESCRIPCION	IMAGEN
Manguito	
Contra Brida	
Bulones	
Elastómeros	
<p>NOTA: las imágenes presentadas son solo de tipo ilustrativas</p>	

Figura 2. 11: Uniones de tres partes baja norma ISO 2531

OTROS TIPOS DE UNIONES MECANICAS, en las cuales estén expuestos los pernos, sus sistemas de roscados, cualesquiera sean estos, deberán ser instalados en

cámaras especialmente diseñadas para el efecto y nunca serán enterradas exponiendo a la corrosión las partes mecánicas móviles.

2. Uniones con juntas elastoméricas.

Las uniones serán del tipo Campana- Campana con sello elastomérico.

DESCRIPCION	IMAGEN
Manguito	
Elastómeros	
NOTA: las imágenes presentadas son solo de tipo ilustrativas	

Figura 2. 12: Uniones con juntas elastoméricas.

2.5.5 Estructuras complementarias para conducciones

2.5.5.1 Cajas para válvulas

En un proyecto de diseño o ampliación de una conducción que incluya válvulas, se deben diseñar las respectivas cajas, de tal manera que se permita el acceso para labores de operación y mantenimiento por parte del personal autorizado de la Empresa Publica ETAPA-EP. Preferentemente las caras deberán tener sistemas de desagüe para evitar inundaciones de la misma.

2.5.5.2 Estaciones reguladoras de presión

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

Las estaciones reguladoras de presión deben emplear válvulas de tipo globo; válvulas de corte de tipo mariposa o esférica, filtros, uniones de desmontaje; y, by pass. Adicionalmente se tendrá presente los accesorios necesarios para la instalación de la estación de medición de caudal y presión.

Las válvulas reguladoras de presión deben cumplir con los siguientes requisitos:

- a. Las estaciones reguladoras de presión pueden localizarse junto a los tanques de reserva o en una cámara independiente, garantizando un acceso adecuado para labores de montaje, operación y mantenimiento.
- b. Se recomienda en caso de válvulas muy grandes que las cámaras para las válvulas que están en la línea de la conducción, tengan techos desmontables en concreto.
- c. Todas las cámaras deberán tener un sistema de desagüe para evitar inundaciones.
- d. Todas las cámaras preferentemente deberán tener ventilación para evitar condensaciones en las válvulas y accesorios que incrementen la corrosión.
- e. Todas las cámaras que contengan sistemas múltiples de control incluidos sistemas electrónicos y eléctricos deberán tener dimensiones, sistemas de iluminación y accesos adecuados para el personal de mantenimiento.

2.5.5.3 Estructuras especiales para protección de tuberías

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

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

- 1.** En el paso de la tubería de conducción por zonas en las cuales pueda ocurrir el tránsito de una creciente, estando el conducto elevado, debe dejarse una sección libre suficiente para permitir el paso del caudal máximo correspondiente a un período de retorno de 50 años como mínimo y deben preverse los apoyos protegidos contra posibles erosiones locales. Estos aspectos deben quedar incluidos en el diseño.

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

En algunos casos especiales, las tuberías de conducción o tramos de ésta requieren de protecciones especiales indicadas en el numeral 2.5.3. La protección de las tuberías de conducción no enterradas debe ser obligatoria cuando estas atraviesan zonas locales donde pueden estar sujetas a daños de cualquier naturaleza, provocada por agentes reales o potenciales.

2.5.6 Comprobación del diseño de las conducciones bajo diferentes condiciones de operación

Una vez realizado el diseño, se deberá comprobar su funcionalidad bajo diferentes condiciones de operación hidráulica. Para esto se deberá utilizar cualquier programa de análisis de redes de tuberías que utilice el método del gradiente como método de cálculo, utilizando la ecuación de Hazen-Williams y teniendo en cuenta que todas las tuberías deben simularse con su diámetro interno real y con el coeficiente de rugosidad absoluta correspondiente a cada material de tuberías. Alternativamente el programa puede permitir el uso de la ecuación de Darcy-Weisbach.

El diseño debe comprobarse para los siguientes casos de operaciones hidráulicas:

1. Flujo permanente bajo las condiciones de Q_{md} en el momento de la puesta en marcha del proyecto; y, para períodos de operación, 10, 20 y 30 años.
2. Caudal mínimo en el momento de inicio de operación del diseño.
3. Escenarios de operaciones especiales de mantenimiento. En particular se deben tener en cuenta aquellos casos en los cuales estas operaciones impliquen la salida de operación de una o varias de las líneas de conducción de la red de conducciones de la Empresa Pública ETAPA-EP.
4. Escenarios de operaciones de emergencia, que impliquen la salida de operación de una o varias de las líneas de conducción de la red de conducciones de la Empresa Pública ETAPA-EP.

5. Escenarios de lavado de ciertas líneas de conducción de la red de conducciones de ETAPA-EP.

En todos los casos anteriores es necesario verificar que los efectos sobre las velocidades no impliquen que en algún punto de las tuberías de la red de conducciones se duplique la velocidad de diseño o que en alguna de ellas ocurra un cambio de dirección del flujo. Esto tiene el objetivo de evitar el desprendimiento de biopelículas y/o la re-suspensión de material inorgánico depositado al interior de las tuberías, con las consecuencias de deterioro de la calidad de agua en la red de conducciones y en la red de distribución de agua potable. En caso de que en alguno de los escenarios se detecten tramos de la tubería de conducción en donde es imposible evitar uno de los dos efectos anteriores, se debe tener en cuenta una operación de lavado previa de estas conducciones.

El diseño debe propender por establecer reglas de operación de la red de conducciones que eviten los problemas de desprendimiento de biopelículas y/o re suspensión del material inorgánico depositado al interior de las tuberías.

2.5.7 Protocolo de pruebas dado por el diseñador

El diseño de una nueva conducción o una ampliación de una conducción existente debe incluir un protocolo de pruebas que especifique el tipo de pruebas hidráulicas que se deben hacer al sistema antes de que éste entre en operación. El objetivo de estas pruebas consistirá en localizar posibles daños por efectos de transitorios generados durante las pruebas hidráulicas de manera de poder implementar oportunamente las medidas correctivas y/o las recomendaciones de operación necesarias para evitar tales daños.

2.6 OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Con respecto a las normas técnicas nacionales o las normas técnicas internacionales AWWA, ASTM, ISO, u otras normas internaciones aceptadas por ETAPA-EP, estas deben quedar establecidas desde el diseño de acuerdo con el material de las tuberías.

2.6.1 Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos

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

1. Las distancias mínimas a la red de alcantarillado de aguas residuales deben ser 3 m horizontal y 0,3 m vertical.
2. Las distancias mínimas a la red de alcantarillado de aguas lluvias deben ser 1,5 m horizontal y 0,3 m vertical.
3. Las distancias mínimas a las redes de alcantarillado combinado deben ser 1,5 m horizontal y 0,3 m vertical.
4. Las distancias mínimas a las redes de teléfono y de energía eléctrica deben ser 1,5 m horizontal y 0,5 m vertical.

Si no es posible cumplir con estas distancias mínimas, las tuberías de las redes de conducción de agua potable deben ser revestidas exteriormente con una protección a todo lo largo de la zona de interferencia como se indica en el Numeral 2.5.3.

2.7 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA DE LA CONDUCCIÓN

El diseñador debe establecer en el protocolo de pruebas aquellas condiciones que se deben medir y se deben cumplir, especificando el grado de precisión de las mediciones, para la puesta en marcha de la conducción, cuando se trate de una línea nueva o ampliaciones a las líneas de conducción existentes. Las pruebas deberán realizarse bajo la supervisión y en coordinación con el área de operación y mantenimiento de la empresa ETAPA-EP.

2.7.1 Pruebas hidrostáticas

Una vez que finalice la instalación de la tubería de la conducción, y siguiendo el protocolo de pruebas establecido por el diseño, ésta debe presurizarse hasta el nivel máximo de la presión estática que va a soportar durante su vida útil, con el fin de verificar su estanqueidad y si existen problemas en las uniones, las juntas, los accesorios, etc. Igualmente debe verificarse el correcto funcionamiento de los anclajes, de acuerdo con el protocolo de pruebas. Estas pruebas pueden hacerse por tramos de la conducción, aislados mediante válvulas. Es responsabilidad del diseñador establecer la norma o estándar internacional bajo el cual se debe llevar a cabo dicha prueba.

2.7.2 Medición de caudales

Una vez finalizadas las pruebas hidrostáticas, y después de llenar la zanja en los tramos enterrados de las tuberías, deben verificarse los caudales de operación incluyendo el

caudal máximo. El diseñador, dentro del protocolo de pruebas, debe establecer el tipo de aparatos de medición, su precisión y el nivel de duración de la prueba.

2.7.3 Línea piezométrica de la conducción

Con el fin de verificar lo establecido por el diseño, y siguiendo el protocolo de pruebas dado por el diseñador, debe medirse la altura piezométrica en diferentes puntos de la tubería para diferentes condiciones de caudal, incluyendo tanto el caudal máximo como el caudal mínimo. Para verificar la altura piezométrica deben utilizarse los puntos de medición establecidos en la tubería, especialmente los puntos de medición de presiones cerca de los accesorios de control y puntos de pitometría. Debe ponerse especial cuidado en aquellos puntos de la tubería donde haya cambios de dirección, tanto verticales como horizontales, en los puntos de presión máxima y sobre todo en los puntos en los cuales la línea física de la tubería se acerca más a la línea piezométrica de diseño. Los datos tomados de esta forma deben ser almacenados en un sistema de información, con el fin de ser comparados con aquellos obtenidos a lo largo de la vida útil del proyecto durante su operación normal.

2.7.4 Desinfección de la conducción

Siempre que se hagan trabajos en una línea de conducción, ya sea una instalación nueva, o una ampliación de una conducción existente, ésta debe ser desinfectada. La desinfección debe ser hecha por el instalador de la tubería y debe realizarse de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma técnica AWWA C-651. Una vez desinfectada la tubería, se deben verificar los datos de calidad de agua con respecto a cloro residual, de acuerdo con el protocolo de pruebas establecido en el diseño.

Para la desinfección de la conducción deben tenerse en cuenta los siguientes requerimientos:

- 1.** Antes de la aplicación del desinfectante, la tubería debe lavarse haciendo circular agua a través de ella y descargándolas por las válvulas de descarga o purga con el objeto de remover todas las materias extrañas, residuos de los procesos de construcción, en especial ningún tipo de materia orgánica. El desinfectante debe aplicarse donde inicia la tubería. Para secciones de la conducción localizada entre válvulas, el desinfectante debe aplicarse por medio de una llave de incorporación.

2. Preferiblemente debe utilizarse cloro o hipoclorito de sodio como desinfectante. La tasa de entrada de la mezcla de agua con gas de cloro a la tubería debe ser proporcional al caudal que entra al tubo. En particular debe seguirse lo establecido por la norma AWWA C-651.

3. La cantidad de cloro debe ser tal que produzca una concentración máxima de 2,5 ppm. El diseño debe establecer claramente la calidad y la cantidad del cloro que debe ser inyectado en cada llave de incorporación.

4. El período de retención del agua desinfectada dentro de la red de conducciones de agua potable no debe ser menor que 24 horas. Después de este período de retención, el contenido de cloro residual en los extremos del tubo, en las llegadas a los tanques de almacenamiento; y en los puntos representativos establecidos por el diseño, deben ser de por lo menos 1,5 ppm.

5. Una vez que se haya hecho la cloración y haya transcurrido el período mínimo de retención, la tubería debe ser desocupada completamente. Cuando se hagan cortes en alguna de las tuberías que conforman la red de conducciones con el fin de hacer reparaciones, o ampliaciones, la tubería cortada debe someterse a cloración a lado y lado del punto de corte.

6. Se debe hacer un muestreo final para llevar a cabo un análisis bacteriológico. En caso de que la muestra no tenga resultados de calidad debe repetirse el proceso de desinfección.

7. En caso de utilizar cuerpos naturales para receptor las aguas de lavado de las conducciones de agua potable el diseñador, deberá considerar los elementos necesarios en la descarga, que permitan la instalación de un sistema de neutralización de cloro para cumplir con los límites de descarga establecidos en la norma ambiental correspondiente.

2.7.5 Golpe de Ariete

Teniendo en cuenta lo establecido por el diseñador con respecto al golpe de ariete en la tubería de conducción, debe medirse la condición de operación que produzca las mayores sobrepresiones y la condición de operación que produzca las menores subpresiones, con el fin de realizar una prueba de golpe de ariete. Esta prueba debe simular la condición de operación establecida en los protocolos de prueba y la presión

debe medirse en aquellos puntos, que, de acuerdo con el diseño, presentan las máximas sobreelevaciones de presión y las mínimas subpresiones. Estos datos deben conservarse en el sistema de información de ETAPA-EP, con el fin de comparar con los datos que se obtengan durante todo el período de operación normal de la red.

2.7.6 Accesorios y Válvulas

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

2.7.7 Válvulas de lavado y Vaciado

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

2.7.8 Válvulas de purga de aire y Ventosas

En todas las válvulas de purga de aire y ventosas que existan a lo largo de la línea de conducción deben hacerse las pruebas correspondientes, establecidas en el protocolo de pruebas, que aseguren su correcto funcionamiento para las diferentes condiciones normales de operación establecidas por el diseño. Se tendrá como referencia las pruebas referidas en la norma técnica AWWA C-512.

2.8 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN DE LA CONDUCCIÓN

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

2.8.1 Golpe de Ariete

En todas las líneas del sistema de conducciones de ETAPA-EP, y en particular aquellas que conforman líneas de impulsión de bombeos, deben medirse las sobre-presiones y las subpresiones generadas bajo condiciones de operación de flujo no permanente, anotando en forma específica la forma de operación de las válvulas y bombas. En este caso es obligatorio el uso de telemetría. El diseño debe establecer en forma clara los

puntos de medición, los aparatos de medición, la frecuencia de toma de datos y el nivel de precisión. Estos registros deben guardarse en las bases de datos de ETAPA-EP, para alimentar los modelos hidráulicos del sistema de agua.

2.8.2 Línea Piezométrica

A lo largo de toda la vida útil del proyecto debe hacerse una revisión de la línea piezométrica o línea de gradiente hidráulico a lo largo de todas las tuberías de conducción. La medición de la línea piezométrica debe ser permanente, y el diseño debe establecer en forma clara los puntos de medición, los instrumentos a ser utilizados, la frecuencia de medición y la precisión de éstas. Para la red de conducciones de ETAPA-EP es obligatorio tener instrumentación telemétrica a lo largo de toda la línea de conducción, con el fin de que el operador conozca en tiempo real las presiones a lo largo de la tubería para diferentes condiciones de operación. Los registros deben ser guardados en las bases de datos de ETAPA-EP con el fin de alimentar los modelos hidráulicos de la red de distribución y la red de conducciones de agua.

2.8.3 Instrumentación y telemetría en las conducciones

En todos los puntos del sistema de conducciones en los cuales exista instrumentación telemétrica, establecida en el diseño, debe verificarse que la precisión de los instrumentos en el momento de entrar en operación esté dentro del rango $\pm 1\%$. Adicionalmente, debe verificarse su correcta instalación en los diferentes puntos de las tuberías, en forma permanente a lo largo de la vida útil del proyecto.

En el caso específico de los sensores o transductores de presión, debe verificarse que la capacidad de estos cubra todo el rango de presiones que pueda presentarse en la tubería de conducciones, tanto bajo condiciones normales de operación como bajo condiciones de emergencia, en particular las sobrepresiones y subpresiones ocasionadas por los casos de flujo no permanente, bajo la conducción de operación extrema.

Con respecto a los medidores de velocidad y de caudal, debe verificarse que la capacidad de estos cubra todo el rango de velocidades que puedan presentarse en la tubería, tanto bajo condiciones normales de operación como bajo condiciones de emergencia. En particular debe verificarse que la instrumentación para la medida de

caudales y de velocidades cubra también las operaciones extremas de lavado de las conducciones.

2.8.4 Reglas de operación para evitar desprendimientos de biopelículas y re suspensión de depósitos inorgánicos

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

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

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

2.8.5 Lavado de las tuberías de conducción

El diseño de la línea de conducción, ya sea nueva o una ampliación de una conducción existente, debe establecer el período de tiempo de su lavado. Este período debe ser de al menos una vez al año. El lavado de las líneas de conducción debe realizarse, adicionalmente, cuando se detecte un deterioro en las condiciones de calidad de agua, en la red de conducciones, o antes de condiciones de operaciones especiales que impliquen cambios drásticos en la hidráulica de las tuberías, tales como incrementos de velocidad, sobre la velocidad media, superiores al ciento por ciento o reversa en la dirección del flujo.

El diseñador deberá recomendar las condiciones de operación iniciales durante los lavados. En particular debe establecer el tiempo de apertura total de las válvulas, indicando claramente cuáles de éstas deben abrirse para una operación de lavado en

particular. Durante las operaciones de lavado se deben tomar las siguientes mediciones:

1. En cada lavado realizado debe registrarse: el sector, el tiempo de apertura total de las válvulas.
2. Calidad del agua antes y después de la operación de lavado.

Las recomendaciones del diseño también deben establecer cuáles datos y frecuencia de medición, deben ser almacenados en las bases de datos del área de operación y mantenimiento de la Empresa Pública ETAPA-EP, con el fin de alimentar los modelos hidráulicos y permitir la calibración de estos bajo operaciones de emergencia y/o lavado.

2.8.6 Uso de tecnologías de información para la operación de conducciones

La operación de las conducciones se debe modelar en un programa de modelación hidráulica que use el método del gradiente para sus cálculos, que permita la modelación en período extendido y que tenga rutinas de calidad de agua. El uso del modelo tiene el objetivo de establecer reglas de operación para el sistema de conducciones con base en restricciones tales como no permitir velocidades que impliquen riesgo de desprendimiento de biopelículas, o como no permitir la inversión de direcciones de flujo, etc.

El modelo hidráulico digital utilizado debe tener en cuenta la altimetría, planimetría, demandas y patrones de consumo de la zona de interés. La topología del modelo debe representar de manera precisa la condición actual de la red. La operación de las conducciones se debe modelar sobre un modelo hidráulico calibrado para representar el comportamiento real de la red. Por consiguiente, el modelo hidráulico utilizado debe contar con rutinas de calibración.

2.9 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO DE LAS CONDUCCIONES

El diseño debe establecer la guía inicial de mantenimiento para el adecuado funcionamiento de toda la línea de conducción y todos los accesorios implementados en esta, como las válvulas de purga, ventosas, apoyos, anclajes, cámaras rompe presión.

La guía inicial de mantenimiento debe considerar los siguientes aspectos:

- Mantenimiento preventivo.
- Suspensión del servicio por mantenimiento.
- Disponibilidad de repuestos.
- Válvulas de vaciado.
- Limpieza de tuberías y desprendimiento de biopelículas y/o depósitos inorgánicos.
- Limpieza de canales de descarga y estructuras de disipación de energía.
- Mantenimiento de accesorios.
- Uso de tecnologías de información para labores de mantenimiento.

2.10 Análisis del golpe de ariete

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

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

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

Los dispositivos que pueden ser considerados desde la etapa de diseño de las conducciones para el control del golpe de ariete son: válvulas de retención, válvulas con una o dos velocidades de cierre, válvulas de alivio, cámara presurizada de aire, ventosas de doble efecto, tanques de compensación unidireccionales, volantes, tanques hidroneumáticos y rotación en sentido inverso de las bombas centrífugas con cierre lento de válvulas.

2.10.1 Condiciones para el cálculo del golpe de ariete

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

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

1. Condiciones normales de operación por bombeo. En las conducciones que conformen líneas de impulsión de bombeos se consideran como condiciones normales de operación las siguientes:

- a. El funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección y control, y en especial los equipos y accesorios de golpe de ariete previsto en la etapa de diseño.
- b. La interrupción súbita del bombeo.
- c. Inicio del bombeo hacia el tanque de almacenamiento
- d. Las maniobras de cierre o apertura de válvulas de control o de cierre que existan en la conducción.
- e. La ocurrencia de las conducciones especiales establecidas en todas las estaciones de bombeo de un sistema complejo.

2. Condiciones excepcionales en conducciones que conformen líneas de impulsión de bombeos. En los sistemas por bombeo se consideran como condiciones excepcionales las siguientes:

- a. La falla de cualquiera de los dispositivos de protección y control, y en especial los equipos y accesorios del golpe de ariete.

b. Las maniobras inadecuadas en las válvulas, que estén en desacuerdo con las reglas de operación especificadas por el diseño.

c. La ruptura de la tubería en la sección de máxima presión bajo régimen de flujo permanente.

d. El cierre retardado de una de las válvulas de retención de la descarga de las bombas antes o simultáneamente con la máxima velocidad de reversa, ocurrida posteriormente a la interrupción del bombeo.

3. Condiciones normales de operación en conducciones trabajando por gravedad. Se consideran como condiciones normales de operación de una conducción por gravedad las siguientes:

a. El funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección y control, y en especial los equipos y accesorios contra el golpe de ariete previstos desde la etapa de diseño.

b. Las maniobras de cierre y apertura de las válvulas de control y de cierre existentes en la tubería de la conducción.

4. Condiciones excepcionales en las conducciones trabajando por gravedad. Las condiciones excepcionales en una conducción trabajando por gravedad son las siguientes:

a. La falla en cualquiera de los dispositivos de protección y control, y en especial los equipos y accesorios contra el golpe de ariete.

b. Las maniobras inadecuadas de las válvulas, en desacuerdo con las reglas de operación establecidas en el diseño del proyecto.

c. La ruptura de la línea de conducción en la sección de máxima presión bajo una condición de flujo permanente.

2.10.2 Presiones máximas y esfuerzos a ser absorbidos

Las presiones internas máximas en la tubería no pueden exceder los siguientes valores:

1. Para las condiciones normales de operación de la conducción, las presiones internas no podrán exceder el valor de la presión de funcionamiento admisible (PFA) para cada

material y para cada clase de tuberías y de conexiones, juntas, bombas, válvulas y todos los demás accesorios que se encuentren presentes en el diseño de la conducción.

2. En las condiciones de operación excepcional, el valor de 1,2 veces la presión de funcionamiento admisible obtenida para cada material y para cada uno de los accesorios colocados en la tubería de conducción.

3. En las condiciones normales y excepcionales, las presiones utilizadas para el cálculo de los empujes aplicados a las estructuras de anclaje de las tuberías, conexiones y equipos.

En aquellas conducciones que sean proyectadas sin dispositivos de control, los esfuerzos originados por el fenómeno de golpe de ariete serán absorbidos por el material del que están hechas las tuberías y las conexiones, las juntas, los anclajes, los accesorios y los equipos de instalación, debiendo verificarse las siguientes condiciones:

1. Las presiones internas máximas debidas al flujo no permanente sean inferiores a las presiones de servicio especificadas para cada tipo de material y clase de tuberías, accesorios, equipos y todo tipo de juntas.

2. La presión interna máxima no exceda 1,2 veces la presión de servicio en fenómenos de transiente.

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

2.10.3 Presiones mínimas

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

Esta presión corresponde a la presión absoluta del vapor de agua a la temperatura ambiente restado de la temperatura ambiente local como se observa en la tabla 2.28.

Tabla 2. 28: 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

Fuente: (MinDesarrollo, 2000)

2.10.4 Celeridad de la onda de presión

Para calcular la celeridad de la onda de presión causada por el fenómeno de golpe de ariete, el diseño debe utilizar la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{\sqrt{\frac{E}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E \cdot D \cdot (1 - \mu p^2)}{E_p \cdot e_p}}} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Donde:

a = Celeridad de la onda de presión (m/s).

E = Módulo de elasticidad de un material (Pa).

ρ = Densidad del agua (Kg/m³).

D = Diámetro de interno real de la tubería (m).

μp = Coeficiente de Poisson de un material. (Adimensional)

E_p = Módulo de compresibilidad del líquido (GPa).

e_p = Espesor de pared de la tubería (m).

El módulo de compresibilidad citado por KROCHIN para el agua es igual a 2,2 GPa.

Para el cálculo del módulo de elasticidad del material del que está fabricada la tubería debe utilizarse la Tabla 2.29 mostrada a continuación. Los valores de otros materiales deben ser especificados por el fabricante.

Tabla 2. 29: Módulo de elasticidad y coeficientes de Poisson para materiales de tuberías.

Material	Módulo de elasticidad E (x10 ⁹ Pa)	Coefficiente de Poisson
Hierro dúctil	165,5	0,28
PVC	2,75	0,42
Polietileno corto plazo	0,9	0,40
Polietileno largo plazo	0,2	0,46

Fuente: (EPM, 2009), (MinDesarrollo, 2000)

Adicionalmente, para el GRP por tratarse de un material compuesto, el módulo de elasticidad es variable dependiendo de la clase de rigidez y presión de la tubería, estos valores se deben consultar con el proveedor.

2.10.5 Período del golpe de ariete

El período del golpe de ariete es el tiempo que una onda de presión necesita para recorrer toda la longitud de la tubería desde el sitio del inicio de la perturbación hasta el final de la tubería y retornar al sitio inicial. El período del golpe de ariete se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{2 \cdot L}{a} \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Donde,

L = Longitud de la tubería (m).

a = Celeridad de la onda de presión (m/s).

2.10.6 Métodos de cálculo de golpe de ariete en sistemas por bombeo

En caso de que la conducción esté conformada por la línea de impulsión de un bombeo, el diseño debe contemplar el cálculo del golpe de ariete utilizando el método de las características o algún método de elementos finitos, considerando la columna de agua como elástica, siempre que ocurran las siguientes condiciones, ya sea parcial o totalmente:

1. Separación de la columna en las secciones del perfil de las tuberías en sus cotas más elevadas.
2. Longitud de la tubería inferior a 20 veces la altura piezométrica total media en la sección de salida de las bombas.

3. Velocidad media máxima en las secciones de la conducción superior a 1.0 m/s.
4. Posible falla de cierre de las válvulas a la salida de las bombas.
5. Presiones actuantes que excedan los $2/3$ de la presión admisible especificada para cada clase de tuberías, conexiones y accesorios que conformen la línea de conducción.
6. Que el tiempo para alcanzar el inicio de la reversión de la bomba sea menor que el tiempo del período del golpe de ariete.
7. Que el tiempo del cierre de la válvula de control sea menor que el período del golpe de ariete.
8. Que el tiempo del cierre automático de las válvulas sea menor que 20 segundos.

En las instalaciones de conducciones por bombeo en las que la tubería de succión sea corta o la pérdida de altura a lo largo de la tubería de impulsión puede ser despreciada para efecto del golpe de ariete, o las bombas son centrífugas y están equipadas con válvulas de retención en las secciones de salida y/o la paralelización de las bombas ocurre por una interrupción en el suministro de energía eléctrica, el cálculo del golpe de ariete puede ser por el método de las características, el método de los elementos finitos, utilizando ambos la teoría de la columna elástica, o mediante el análisis de golpe de ariete por columna rígida, exceptuando lo establecido en el siguiente caso:

- a. El método del cálculo del golpe de ariete no es válido si las líneas piezométricas trazadas con las cargas piezométricas mínimas obtenidas antes y después de anularse el caudal de las bombas, determina presiones inferiores a las presiones atmosféricas en las secciones de tubería de impulsión donde hubieran ventosas, o inferiores a la presión de vapor del líquido a temperatura ambiente en secciones sin ventosas; en este caso ocurrirá la separación de la columna de agua y por consiguiente no prosiguen los cálculos del golpe de ariete.

2.10.7 Métodos de cálculo del golpe de ariete en conducciones por gravedad

En las tuberías de conducción que operen por gravedad, el diseño debe incluir el cálculo del golpe de ariete por el método de las características o por el método de los elementos finitos, utilizando la teoría de columna elástica, siempre que alguna de las siguientes condiciones ocurra parcial o totalmente:

1. Separación de la columna en las secciones del perfil de la conducción de cotas más elevadas, en caso de posibles rupturas o durante maniobra de válvulas para operaciones de emergencia.
2. Necesidad de un menor tiempo mínimo del cierre de válvulas para interrupción del flujo para las condiciones normales y las operaciones de emergencia.
3. Maniobra de una válvula de control de caudal con grandes variaciones de velocidad como función del tiempo.
4. Presiones internas actuantes que excedan los $2/3$ de la presión admisible especificada para cada clase de tubería, con sus conexiones y accesorios.

2.10.8 Alternativas de reducción de la variación de presión en los transitorios (CONAGUA, 2016).

- Aumento de la sección transversal de la tubería (cambio de su diámetro a uno superior). Una solución de esta índole es cara y generalmente se buscan otras soluciones. Puede ser conveniente si algunos tramos de pequeña longitud y pequeño diámetro en la conducción son la causa de un aumento considerable del golpe de ariete.
- Disminución de la velocidad de propagación de la onda de presión (a). La velocidad (a) depende de la elasticidad del material de la tubería y del contenido de aire dentro del agua. En esta relación, en conducciones de tubería plástica, ocurre un golpe de ariete de menor valor.
- Aumento del tiempo de duración del proceso transitorio. En caso de un golpe de ariete causado por el cierre de válvulas, este aumento se efectúa mediante un retardo en el cierre. El proceso de paro de los equipos de bombeo puede retardarse adicionándoles volantes especiales que aumenten su inercia.
- Limitación de la longitud de la tubería en la que se desarrolla el golpe de ariete. En una conducción por gravedad esto puede lograrse construyendo tanques intermedios que dividen la tubería en dos (o más de dos) partes y evitan el paso de las ondas de presión entre esas partes.
- En una línea de bombeo esto puede lograrse cambiando el bombeo de una etapa por varias etapas con cárcamos intermedios, dado que en la tubería de cada etapa el golpe de ariete se desarrollaría de forma independiente.

- Reducción de la variación del gasto ΔQ en la tubería. En los periodos de depresión se suministran gastos complementarios desde afuera para reducir las depresiones. En los periodos de sobrepresión, parte del gasto se expulsa al exterior o a un recipiente.

Con la reducción de las sobrepresiones y depresiones pueden evitarse o disminuirse las presiones negativas y las separaciones de columna. Por esta razón, las cinco alternativas señaladas pueden presentar también esta función. Si aun así se producen presiones negativas (vacíos) y separaciones inadmisibles, tendrán que tomarse medidas especiales para eliminarlos.

El vacío puede evitarse mediante la admisión de agua o aire. Debe señalarse que cuando se admite agua, el flujo dentro de la tubería se mantiene continuo, mientras que, si ingresa aire a la tubería, se forma una burbuja de aire, es decir, el flujo no es continuo. Se puede decir que en el lugar de la admisión de aire se forma también una separación de columna, por tanto, admitir agua es una medida más eficaz que admitir aire.

Generalmente la protección contra los transitorios puede lograrse de diversas formas y con diferentes medios. La tarea es seleccionar la variante más conveniente. El criterio determinante más frecuente es el económico, es decir, se busca la variante con un mínimo de costos para la protección, mantenimiento, gastos complementarios por concepto de energía eléctrica, etc., manteniendo el golpe de ariete dentro de los límites permisibles. También puede elegirse otro criterio, como la máxima seguridad, sin importar los costos (en el caso de obras importantes), etc.

Excepcionalmente se dan casos en los que, en vez de emplear una protección anti arieté, resulta más conveniente usar tubería y accesorios con una resistencia mayor o de una clase superior a la normalmente utilizada.

2.11 ANALISIS DE RIESGO DE CADA PROYECTO

El análisis de riesgo que se debe efectuar en cada proyecto debe identificar y medir la criticidad de los riesgos, además de promover el involucramiento, una mejor comprensión, reconocimiento de responsabilidades y la alineación con las partes involucradas.

Debe contemplar lo siguiente:

- Información general del proyecto.
- Identificar las categorías de las amenazas que potencialmente podrían afectar su sistema para la ubicación bajo estudio.
- Identificación de los eventos de riesgo:
 - Geofísicas: Terremoto – Movimientos de Tierra
 - Geofísicas: Movimientos de masas - Deslizamientos
 - Hidrológica: Inundación – Inundación fluvial
 - Hidrológica: Inundación – Inundación repentina
 - Antropogénica: Población adyacente – Explotaciones Mineras y sus combinaciones.
- Para cada evento de riesgo debe evaluarse la exposición que sufre el proyecto, utilizando la siguiente escala:
 - Despreciable
 - Extremadamente improbable
 - Muy poco probable
 - Poco probable
 - Improbable
 - Posible
 - Probable
 - Más que probable
 - Muy probable
 - Extremadamente probable
 - Inevitable
- Analizar la vulnerabilidad del proyecto para cada una de las categorías (proveedores y servicios externos, infraestructura física, funcionalidad y productividad, recurso humano) de todos los eventos.
- Evaluar el nivel de las medidas de respuesta implementadas de acuerdo a la siguiente escala:
 - No hay medidas implementadas
 - Extremadamente pocas medidas implementadas
 - Muy pocas medidas implementadas
 - Pocas medidas implementadas

- Algunas medidas implementadas
- Medidas implementadas son razonables
- Medidas implementadas son buenas
- Medidas implementadas son de alta calidad
- Medidas implementadas son de muy alta calidad
- Medidas implementadas son de extrema calidad
- Control completo del desastre

➤ Analizar los resultados de cada riesgo de acuerdo a la siguiente matriz:

Tabla 2. 30: Matriz de Riesgo.

		Probabilidad				
		Muy Baja	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta
Severidad *	Insignificante	MB1	MB2	B3	B4	M5
	Menor	MB2	B3	B4	M5	M6
	Moderado	B3	B4	M5	M6	A7
	Mayor	B4	M5	M6	A7	A8
	Catastrófica	M5	M6	A7	A8	MA9

Fuente: (Ordoñez et. Al, 2018)

Tabla 2. 31: Probabilidad de Ocurrencia.

Probabilidad		
Nivel	Definición en base a la probabilidad de ocurrencia	Definición en base a datos históricos
Muy Alto	Es casi certero que ocurra al menos una vez	Ha ocurrido 3 o más veces en los últimos 5 años
Alto	Es razonable pensar que ocurrirá al menos una vez	Ha ocurrido 2 veces en los 5 últimos años
Moderado	Puede ocurrir al menos una vez	Ha ocurrido una vez en los últimos 5 años
Bajo	No se espera que ocurra	Podría ocurrir u ocurrió una vez en los últimos 10 años
Muy Bajo	Ocurre en situaciones extraordinarias	Puede ocurrir solo bajo situaciones excepcionales y ha ocurrido en los últimos 20 años

Fuente: (Ordoñez et. Al, 2018)

➤ Identificar las medidas de gestión para reducir la exposición o vulnerabilidad del proyecto.

Para el análisis de riesgo del proyecto se podrá utilizar la “Herramienta para el análisis de riesgos y vulnerabilidades para sistemas de agua potable y alcantarillado” (Ordoñez et. Al, 2018).

CAPITULO III

3. REDES DE DISTRIBUCION

La red de distribución es el conjunto de tuberías, accesorios y sus elementos de control cuya función primaria es proveer agua potable a los usuarios entre los que deben incluirse, además de las viviendas, los servicios públicos, los comerciales y los de la pequeña industria; si las condiciones económicas del servicio en general, y del suministro en particular son favorables, también podrá atenderse a la gran industria. Estas redes parten de los tanques de almacenamiento e incluyen además de los tubos, nudos, válvulas de control, válvulas reguladoras de presión, ventosas, hidrantes, acometidas domiciliarias y otros accesorios necesarios para la correcta operación del sistema.

3.1 ALCANCE

En este capítulo se establecen los criterios básicos, los aspectos específicos y los requisitos mínimos que debe cumplir el diseño de las redes de distribución, con el fin de garantizar la seguridad, la confiabilidad, la durabilidad, la funcionalidad, la calidad del agua, la eficiencia, la sostenibilidad (técnica, legal, económica, financiera, ambiental) y la redundancia del sistema.

También se incluyen aquellos aspectos que desde el diseño tengan influencia sobre los procesos de construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de todas las estructuras y accesorios que conforman la red de distribución.

3.2 ESTUDIOS PREVIOS

3.2.1 Concepción del proyecto

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

La concepción del diseño del proyecto de la red de distribución debe incluir, entre otras, las siguientes actividades:

- a. Definición de los caudales actuales y futuros para el correcto dimensionamiento de la red de distribución.
- b. Verificación de que la red a diseñar se encuentre dentro del área de servicio de ETAPA-EP, además de los sectores y subsectores de distribución existentes.
- c. Delimitación clara de los circuitos hidráulicos en que se va a dividir la red de distribución, estableciendo las diferentes zonas de presión y definiendo la presión de entrada óptima a cada subcircuito.
- d. Localización y dimensionamiento de los equipos y accesorios destinados al funcionamiento y la operación del sistema de distribución de agua potable, en particular, aquellos necesarios para el aislamiento de los circuitos hidráulicos.
- e. Fijación de las capacidades de los tanques de regulación localizados inmediatamente aguas arriba de las redes de distribución.
- f. En caso de ampliaciones se debe realizar un análisis hidráulico del sistema de distribución de agua potable existente, con el objetivo de aprovechar eficientemente las tuberías y otras estructuras existentes.
- g. El trazado de los conductos principales y secundarios de la red, incluyendo la forma de aislamiento de los diferentes circuitos de la red con el fin de llevar a cabo operaciones de reparación y/o mantenimiento.
- h. Dimensionamiento de cada una de las tuberías de la red, estableciendo su diámetro interno real y su rugosidad absoluta. En caso de que el diseño involucre la ampliación de una red de distribución debe establecerse claramente cuáles de los tubos existentes deben ser redimensionados y cambiados.
- i. Optimización del diseño de la red de distribución, incluyendo el análisis de costo mínimo y la optimización económica de los diámetros que conforman la red de distribución respetando las restricciones hidráulicas de caudal demandado en cada uno de los nudos y de presión mínima en la red de distribución.
- j. Estimación de los costos de construcción, de operación a lo largo de la vida útil del proyecto y de mantenimiento del sistema de distribución.

3.2.2 Infraestructura existente

Para el proceso de diseño deben identificarse las principales obras de infraestructura construidas y proyectadas dentro de la zona de influencia de la red de distribución que se va a desarrollar, tales como calles, avenidas, puentes, tranvía, líneas de transmisión de energía eléctrica, redes y cámaras de telecomunicaciones, sistemas de alcantarillado y cualquier otra obra de importancia. El análisis de la infraestructura existente debe incluir un estudio sobre el sistema de redes de distribución, en el cual se establezca tanto el catastro de tuberías y accesorios, como el estado estructural de las tuberías y la operación hidráulica del sistema.

3.2.3 Aspectos generales de la zona de la red de distribución

El diseñador debe conocer todos los aspectos generales de la zona del que será abastecida por la red de distribución objeto del diseño. En general, debe conocer los regímenes de propiedad y los usos generales de la zona, así como los requisitos básicos sobre tipos de clientes y los usos del agua que va a ser suministrada.

Como mínimo el diseñador debe conocer la siguiente información referente a los aspectos generales de la zona:

- a. La distribución espacial de la población y de la demanda en cada uno de los nudos de la red de distribución.
- b. Las calles y carreteras existentes y las aprobadas en la planificación municipal.
- c. Las vías de tranvía, las vías de alto tráfico, las autopistas existentes y proyectadas.
- d. Las áreas de expansión futuras, previstas en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio, teniendo en cuenta las densidades de saturación, cuando éstas existan, así como futuros proyectos de infraestructura de gran magnitud.
- e. Las áreas en donde el desarrollo urbano se encuentre prohibido en el Plan de Ordenamiento Territorial.
- f. Los cursos de agua con sus obras de canalización, tanto las existentes como las proyectadas. En particular se debe tener un perfecto conocimiento del sistema de drenaje urbano.
- g. Los puentes, viaductos, pasos sobre cursos de agua, vías públicas y otras obras de infraestructura.

h. La información topográfica del sistema de distribución de agua potable existente, en caso de que se trate de una ampliación de la red de distribución.

i. La localización de otras redes de diferentes servicios públicos, tales como las redes de alcantarillado de aguas lluvias y aguas residuales o combinados, semáforos, redes eléctricas y las redes de teléfonos.

3.2.4 Estudios topográficos

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

1. Planos aerofotogramétricos de la zona en donde va a diseñarse, construirse o ampliarse la red de distribución.
2. Planos de catastro de todas las obras de infraestructura existente de la zona del proyecto.
3. Fotografías aéreas existentes para la zona objeto del diseño, que incluyan claramente la zona donde va a diseñarse, construirse o ampliarse la red de distribución.
4. Los planos de catastro o inventario de las redes de distribución de agua potable existentes que tengan relación con la red objeto del diseño. En particular debe tenerse en cuenta la localización de las redes de conducciones y/o los tanques de almacenamiento desde los cuales se alimentará la red de distribución.
5. El estudio topográfico de la zona objeto del diseño, o de sus áreas de expansión.
6. En todo lo relacionado a precisiones de los trabajos topográficos se estará a lo dispuesto en las especificaciones técnicas de trabajos topográficos de la empresa ETAPA EP.

3.2.5 Condiciones geológicas

El diseñador debe conocer todas las condiciones geológicas y las características del subsuelo en las zonas de trazado de la red de distribución. Mediante el uso de planos geológicos, deben identificarse las zonas de falla, de deslizamiento, de inundación y en general todas las zonas que presenten algún problema causado por aspectos geológicos. Se deben evitar alternativas de trazado que crucen zonas claramente identificadas como zonas de deslizamiento para las redes de distribución, a menos que se realicen los trabajos que garanticen la estabilidad de la tubería. El diseñador

consultará previamente los estudios de riesgos de los sistemas de agua potable y saneamiento existentes en ETAPA EP.

3.2.6 Estudio de suelos

En los términos de referencia de los contratos de consultoría que realiza ETAPA-EP deberá contemplarse un estudio geotécnico para determinar las propiedades corrosivas de los suelos alrededor del trazado de la red de distribución.

Las características agresivas de los suelos se pueden determinar con base en el contenido de aniones del mismo, cloruros, sulfatos y sulfuros, pH, potencial rédox y resistividad. Este tipo de información resulta de interés para predecir la agresividad de un suelo frente a, por ejemplo, una tubería enterrada y con base en esto, evaluar la corrosión y la protección correspondiente.

El especialista del equipo consultor propondrá en su oferta técnica y justificara el método de análisis de estos parámetros y en base al mismo determinara el alcance de las pruebas de campo requeridas, las cuales deberán ser aprobadas por ETAPA-EP.

3.2.7 Interferencia con otras redes y corrientes eléctricas

Cuando el trazado de la línea de la red de distribución cruce o esté cerca de redes eléctricas, líneas del tranvía y líneas de alta transmisión, el diseñador debe estudiar la magnitud de las corrientes parásitas con el fin de seleccionar el material apropiado para la tubería y accesorios de la red de distribución o su protección necesaria contra los problemas de corrosión inducido por corrientes eléctricas.

3.3 CONDICIONES GENERALES PARA LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

Para el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de las redes de distribución, el diseñador debe identificar las alternativas de distribución de agua, por gravedad, por bombeo y mixtas, teniendo en cuenta un análisis de costo mínimo. Además, el diseño debe tener en cuenta las siguientes condiciones generales:

3.3.1 Recomendaciones sobre el trazado de la red de distribución

3.3.1.1 Recomendaciones generales

Hasta donde sea posible el diseño de las redes de distribución debe tener como objetivo el que ésta se instale en terrenos de propiedad pública, evitando interferencias con complejos industriales, vías de tráfico intenso, redes eléctricas, colectores del sistema

de alcantarillado, instalaciones aeroportuarias, etc. En particular, deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. El trazado se debe hacer, en lo posible, paralelo a las vías públicas. En caso contrario, o si se considera inconveniente desde el punto de vista económico o que implique el uso de predios privados, será necesario establecer la correspondiente servidumbre.
2. En todos los casos se debe llevar la red de distribución hasta el frente del lote, asegurando que se abarque la totalidad del frente de dicho lote.
3. El trazado de la red debe evitar interferencias con aquellos servicios públicos domiciliarios cuya red sea de difícil relocalización o presente dificultades técnicas importantes.
4. Las tuberías principales de la red de distribución deben ubicarse cerca de los grandes consumidores y de las áreas de mayor consumo específico.
5. Siempre deben buscarse rutas con topografía suave, evitando piezas y accesorios especiales.
6. Durante la ejecución de la obra, el trazado debe minimizar los desvíos e interrupciones del tráfico.
7. El trazado también debe propender por minimizar la cantidad de rotura y reconstrucción de pavimentos.
8. El trazado debe reducir al mínimo las interferencias con las redes de servicios públicos existentes durante el período de construcción.

3.3.1.2 Recomendaciones específicas

Además de las recomendaciones generales, para el trazado de una red de distribución para un circuito o un subcircuito, el diseñador debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones específicas:

1. Para la instalación de tuberías nuevas con diámetros mayores que 300 mm, deben evitarse vías públicas con tráfico intenso y con una dificultad de manejo de tráfico durante la ejecución de las obras.

2. Los proyectos de redes de distribución deben evitar aquellas zonas que tengan riesgo de inundaciones periódicas, salvo cuando sea imprescindible ubicar algún conducto principal por zonas de tales características. En este caso, el diseño debe establecer el tipo de tubería y su protección según se establece en el Numeral 3.5.3, para evitar problemas de contaminación del agua potable y posibles problemas de flotación de la tubería por presión freática.

3. La tubería de la red de distribución de agua potable se debe localizar preferiblemente en los costados sur y este de las calzadas.

4. La red de distribución debe ser doble, con la ubicación de tuberías en los dos andenes de la vía, o junto a ellos cuando ocurra cualquiera de los siguientes casos:

- a. La red esté ubicada en una avenida con tráfico intenso.
- b. El ancho de la vía sea mayor que 12 metros.
- c. Que, de acuerdo con un análisis económico, involucrando el costo de las acometidas y de las tuberías, se concluya que es más económica la implantación de una red doble.
- d. Cuando exista parterre central en la vía.

3.3.1.3 Recomendaciones para evitar puntos muertos en la red

El trazado definitivo de la red de distribución debe evitar, hasta donde sea posible, la presencia de puntos muertos en la red debido a los problemas de calidad de agua que dichos puntos causan. Para esto, desde la etapa de diseño se deben seguir las siguientes recomendaciones particulares:

1. La existencia de puntos en la red con velocidades nulas o con velocidades muy bajas para la condición de caudal máximo horario, no implica cambios en los diámetros mínimos de tuberías establecidos en esta guía.
2. El diseño debe procurar que las redes que conforman los subcircuitos estén conformadas por circuitos cerrados de tuberías. De todas formas, el diseñador debe verificar que, en este tipo de redes con circuitos, no existan puntos en las tuberías con velocidades menores que 0,6 m/s o con velocidades nulas. Esta comprobación se debe hacer haciendo uso del modelo hidráulico de la red de distribución.
3. En caso de que en alguna zona del circuito o subcircuito no se pueda hacer una red cerrada, terminando con tuberías en punta, el trazado debe tratar que los puntos más

extremos de estas tuberías en lo posible terminen en una válvula de purga para el lavado de la tubería, con sus correspondientes caja y estructura de descarga a los ríos, quebradas, pozos del sistema de alcantarillado de aguas lluvias o combinadas verificando que tengan la capacidad para recibir estas descargas. En el diseño se debe verificar la calidad de agua que llega a los últimos clientes, asegurando que en todo momento se cumpla lo establecido en la ley.

4. En caso de que exista la posibilidad de ampliación o extensión de la red, el hidrante o la válvula mencionados en el ítem anterior deben ir acompañados de una tee con su correspondiente tapón.

3.3.2 Capacidad de la red

La red de distribución de agua potable debe proyectarse de tal forma que se asegure en todo momento el suministro directo y adecuado de agua potable al ciento por ciento de la población dentro del área de cobertura, con una presión suficiente y continua en todo el sistema.

Adicionalmente, para el cálculo de la red de distribución deben tenerse en cuenta, desde la etapa de diseño, los siguientes puntos:

1. La red de distribución debe considerar las distintas etapas del proyecto, así como los caudales correspondientes estimados para cada una de ellas.

2. Para el cálculo de la red de distribución debe considerarse la zona urbana actual, de acuerdo con sus densidades actuales y futuras y con los caudales resultantes correspondientes.

3. Para el diseño deben considerarse los siguientes tipos de ocupación del suelo en la definición de las áreas específicas por abastecer:

a. Áreas residenciales

b. Áreas comerciales

c. Áreas industriales

d. Áreas especiales

4. Para la definición de los caudales de la red de distribución de agua potable, el diseño debe tener en cuenta aquellos consumidores individuales considerados como grandes

consumidores y aquellos puntos que sean importantes para la protección contra incendios.

3.3.3 Topología de la red de distribución

Con respecto a la topología de las redes de distribución, el diseño debe tener en cuentas las siguientes condiciones generales:

- 1.** Las redes de distribución preferiblemente deben conformar circuitos cerrados para garantizar que se cumplan con los requisitos de la presión mínima y máxima y de caudal demandado en cada nudo.
- 2.** El diseño puede incluir tramos de la red de distribución abiertos, siempre y cuando terminen en tapones provistos de una válvula de purga, que sirvan para limpieza de la tubería y/o para expansiones futuras del sistema, procurando que no existan puntos muertos en el sistema debido a los problemas de calidad de agua que estos conllevan. En estos casos, el diseño debe establecer la frecuencia y forma de lavado de estas tuberías abiertas.
- 3.** Preferiblemente la alimentación de cada circuito o subcircuito se debe hacer en un solo punto con el fin de facilitar el cálculo de balances de aguas necesario para controlar el índice de agua no contabilizada.

3.3.4 Facilidad de acceso

En todos los casos, las tuberías que conformen la red de distribución deben tener facilidad de acceso para los equipos de mantenimiento de la Empresa Pública ETAPA-EP, a lo largo de todo su trazado. En caso de que alguna de las válvulas reguladoras de presión quede localizada por debajo de una vía de alto tráfico, el acceso para la operación y mantenimiento de estas estructuras debe hacerse desde el lado de la vía.

3.3.5 Protección contra la contaminación

El diseño debe tener especial cuidado con la posible contaminación de las aguas tratadas que se mueven a lo largo de la red de distribución. En general, las tuberías de las redes de distribución son poco vulnerables a la contaminación que se encuentra en los suelos que rodean la tubería, desde los tanques de almacenamiento hasta los puntos de entrega. En caso de que la red de distribución cruce terrenos que pudiesen causar contaminación del agua tratada, la tubería debe protegerse en su exterior según lo

indicado en el Numeral 3.5.3 de esta guía, para evitar posibles problemas de infiltración hacia la tubería, ya sea por corrosión o por permeabilidad de la pared a ciertos contaminantes. El diseño debe tener especial cuidado en aquellas tuberías cercanas a estaciones distribuidoras de productos derivados de petróleo.

3.3.6 Vulnerabilidad de la red de distribución

La red de distribución es vulnerable a la deformación del suelo causada por problemas geotécnicos, geológicos y/o topográficos. El diseño debe establecer el nivel de vulnerabilidad. En caso de que por razones geológicas, topográficas, sísmicas o cualquier otro tipo de factor se considere que la red de distribución tiene una alta vulnerabilidad, el diseño debe tener en cuenta que la red sea fácil y rápida de reparar en caso de daños. El diseño también debe poner especial cuidado en la división de la red en circuitos y en la facilidad del aislamiento de éstos. Con el fin de establecer la vulnerabilidad de las tuberías de la red de distribución frente a la deformación del suelo se puede seguir lo establecido en la Tabla 3.1

Tabla 3. 1: Vulnerabilidad de las tuberías de la red frente a la deformación del suelo.

TIPO DE MATERIAL Y DIÁMETRO	TIPO DE UNIÓN
Vulnerabilidad baja	Vulnerabilidad baja
Hierro dúctil	Campana y espiga con empaque de caucho, fija.
Polietileno	Fundida.
Vulnerabilidad media	Vulnerabilidad baja a media
Hierro dúctil	Campana y espiga con empaque de caucho, suelta.
Vulnerabilidad alta	Vulnerabilidad alta
PVC	Unión elastomérica o cementado solvente.

Fuente: (EPM, 2009)

3.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

3.4.1 Período de diseño

El período de diseño de las redes de distribución debe ser escogido de acuerdo a la magnitud del proyecto y, nunca inferior a 20 años el cual debe ser compatible con todos los elementos del sistema. Adicionalmente, el diseño de las redes debe considerar las siguientes recomendaciones:

1. Se debe estudiar la posibilidad de construcción por etapas de las obras de redes y estructuras; así como también prever el posible desarrollo del sistema y sus obras principales, considerando la dinámica de la demanda del servicio.
2. En general se considerará que las obras sean de fácil ampliación, mientras que las obras de gran envergadura o aquellas que sean de difícil ampliación, deben tener períodos de diseño más largos.
3. El diseño de obras definitivas podrá prever la construcción por etapas, las mismas que no serán más de tres. Para cada caso deberá analizarse el comportamiento hidráulico con respecto a los sistemas de control y medición en relación a la variación de caudal en el tiempo.
4. El período de diseño de obras de emergencia se escogerá tomando en cuenta la duración de ésta, es decir, considerando el lapso previsto para que la obra definitiva entre en operación.
5. Se tendrá presente la reposición de los elementos cuya vida útil sea menor al período de diseño, debiendo cumplir con los criterios económicos-financieros que garanticen la rentabilidad del proyecto.

3.4.2 Caudal de diseño

El caudal de diseño para las redes de distribución, o ampliaciones de ésta, debe satisfacer la demanda de agua, considerada al final del período de diseño.

Los caudales de diseño para sistemas que funcionan de forma continua serán calculados mediante el empleo de las siguientes fórmulas:

1.-Caudal Medio Diario (Qmd)

Caudal Medio Diario: Este caudal corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año, proyectado al horizonte de diseño.

$$Qmd = P \times Dbruta / 86400 \text{ (l/s)} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

En donde: P = población futura $Dbruta$ = Dotación bruta

Dotación bruta: es la cantidad mínima de agua para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando las pérdidas que ocurran en el sistema de conducciones, distribución de agua potable, en los bombeos y en los tanques de almacenamiento.

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

En las siguientes tablas se especifican la dotación bruta y neta promedio, resultantes de los estudios actualizados realizados por el SOAS a partir de la base comercial de la Empresa, para el cálculo de la dotación bruta se usó la ecuación 3.2:

$$Db = \frac{D \text{ neta}}{1 - \% \text{ Pérdidas}} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Tabla 3. 2: Dotaciones Netas y Brutas promedios para la zona: Urbana, Consolidada y Especial.

AÑO	TASAS DE CONSUMO				DOTACIÓN NETA l/hab-día	PERDIDAS FÍSICAS + mm l/hab-día	DOTACIÓN BRUTA l/hab-día	DOTACIÓN BRUTA ASUMIDA l/hab-día
	RESIDENCIAL l/hab-día	COMERCIAL l/hab-día	INDUSTRIAL l/hab-día	ESPECIAL l/hab-día				
2015	187	17	4	12	220	31%	319	320
2020	183	17	4	12	216	30%	309	320
2025	179	16	4	11	210	30%	300	300
2030	176	16	4	11	207	29%	292	300
2035	174	15	4	11	204	29%	287	290
2040	172	15	4	11	202	28%	281	290
2045	170	15	3	10	198	28%	275	275
2050	170	14	3	10	197	28%	274	275

Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019)

Tabla 3. 3: Dotaciones Netas y Brutas promedios para la zona: Periurbana

AÑO	TASAS DE CONSUMO		DOTACIÓN NETA l/hab-día	PERDIDAS FÍSICAS + mm l/hab-día	DOTACIÓN BRUTA l/hab-día	DOTACIÓN BRUTA ASUMIDA l/hab-día
	RESIDENCIAL l/hab-día	COMERCIAL l/hab-día				
2015	152	17	169	31%	245	245
2020	150	17	167	30%	239	245
2025	148	16	164	30%	234	235
2030	146	16	162	29%	228	235
2035	144	15	159	29%	224	225
2040	143	15	158	28%	219	225
2045	142	15	157	28%	218	220
2050	142	14	156	28%	217	220

Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019)

Tabla 3. 4: Dotaciones Netas y Brutas promedios para la zona: Rural.

AÑO	TASA DE CONSUMO	DOTACIÓN NETA l/hab-día	PERDIDAS FÍSICAS + mm l/hab-día	DOTACIÓN BRUTA l/hab-día	DOTACIÓN BRUTA ASUMIDA l/hab-día
	RESIDENCIAL l/hab-día				
2015	113	113	30%	161	160
2020	112	112	30%	160	160
2025	111	111	30%	159	160
2030	110	110	30%	157	160
2035	110	110	30%	157	160
2040	109	109	30%	156	160
2045	108	108	30%	154	160
2050	108	108	30%	154	160

Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019)

Para la realización de nuevas extensiones del sistema de agua potable se deberá consultar las dotaciones por sectores de distribución, presentadas en la base georreferenciada de GAPASA.

2.-Caudal Máximo Diario (QMD)

Caudal Máximo Diario: corresponde al máximo caudal consumido, registrado en un período de 24 horas a lo largo de un año.

$$QMD = KMD \times Qmd \quad \text{Ecuación 3.3}$$

En donde KMD = Coeficiente de variación de consumo máximo diario.

Se adopta $KMD = 1,3$.

3.-Caudal Máximo Horario (QMH)

Caudal Máximo Horario: corresponde al caudal de consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio.

$$QMH = KMH \times QMD \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$KMH \times KMD \times Qmd = K2 \times Qmd \quad \text{Ecuación 3.5}$$

El resultando de $KMD * KMH = K2$

En las siguientes figuras se especifican los valores de KMH promedio en el área urbana y periurbana, resultantes de los estudios actualizados realizados por el SOAS a partir de la base comercial de la Empresa:

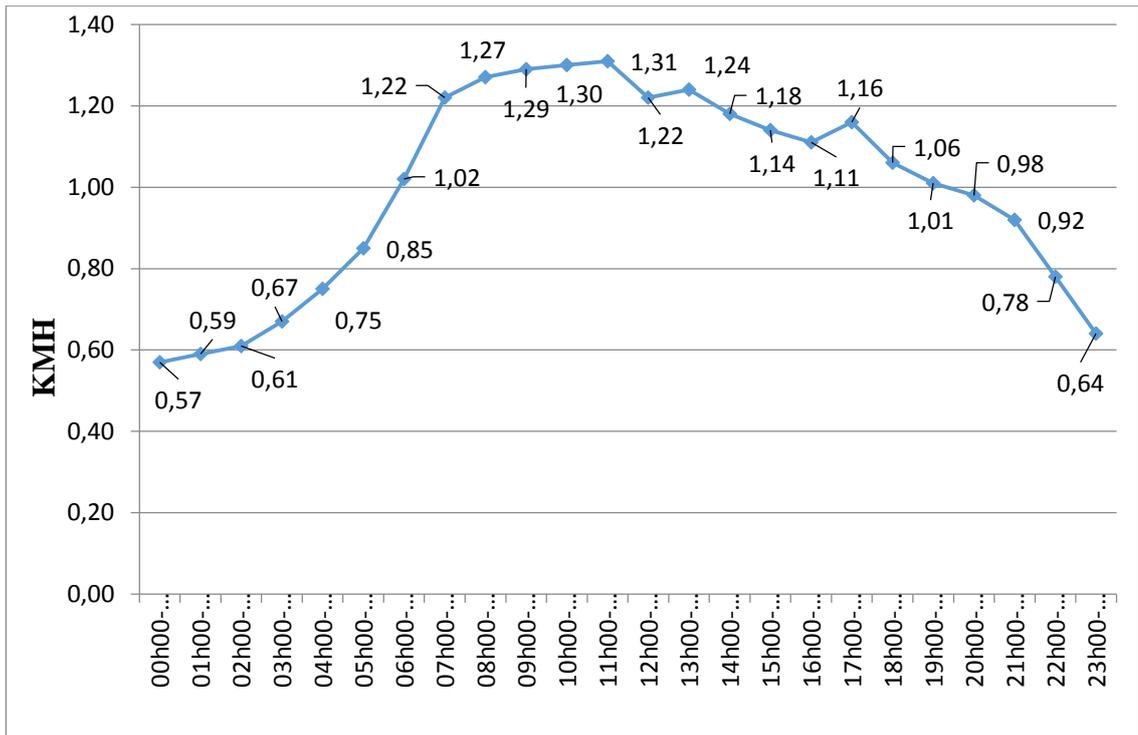


Figura 3. 1: KMH en la área urbana promedio de los tanques Cristo rey, Miraflores y Turi.
 Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019)

Para el área urbana se adopta un KMH = 1,3.

En el área periurbana según lo detallado en la curva a continuación:

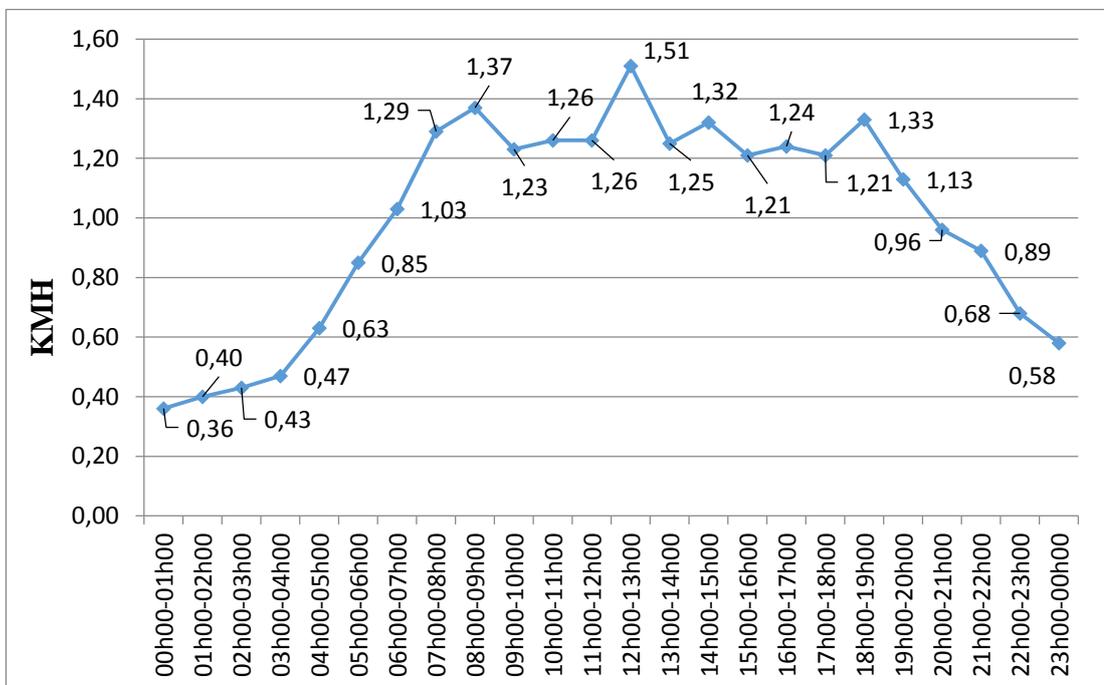


Figura 3. 2: KMH en la área periurbana promedio de los tanques Calderón, Rayo loma y Trinidad.
 Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019)

Para el área periurbana se adopta un KMH = 1,5

3.4.3 Deflexión de las tuberías de la red de distribución

Las tuberías formadas por segmentos rectos pueden colocarse en curva, si es necesario, mediante la deflexión de las tuberías en sus uniones, si éstas son del tipo flexible. Sin embargo, si el trazado de la red de distribución implica una vulnerabilidad alta, de acuerdo a lo definido en el Numeral 3.3.6, o cruza suelos con problemas de estabilidad, no se recomienda deflectar las tuberías en las uniones, con el fin de mantener su flexibilidad y dar seguridad a la red de distribución. En el caso de las uniones flexibles, la deflexión máxima posible en cada junta, con excepción de las uniones con características especiales, será la indicada por el fabricante de la tubería. Preferiblemente en las curvas se utilizarán codos estándar con sus respectivos anclajes en caso de que el diseño lo requiera.

3.4.4 Materiales para las tuberías de la red de distribución

Para la construcción de una red de distribución de agua potable o una ampliación de éstas, el diseño debe proponer el uso de alguno de los siguientes materiales:

1. Hierro dúctil (HD)
2. Policloruro de vinilo (PVC)
3. Polietileno de alta densidad (PEAD)

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

1. Los materiales y tipo de tubería se deben escoger en base a las condiciones sanitarias, la agresividad de los suelos y la calidad del agua a transportar.
2. El tipo de protección interna y externa, contra la corrosión, debe establecerse en base al conocimiento de las características de corrosividad de los suelos y del agua a transportarse.
3. Se debe estudiar la corrosividad que puedan producir las corrientes divagantes, en los casos en que la red de distribución cruce la línea de tranvía o una línea de alta tensión.
4. En lo posible, hay que evitar los terrenos inestables o los suelos, cuyo análisis revele una corrosividad especial. Si a pesar de todo, es necesario atravesarlos, conviene

localizar la red de distribución con el mejor alineamiento posible y diseñar medidas de seguridad que minimicen los riesgos de daño.

5. Cuando la red de distribución con tuberías de hierro dúctil atraviese terrenos particularmente corrosivos, la protección debe hacerse con mangas de polietileno.

6. La resistencia a los esfuerzos mecánicos producidos por las cargas tanto internas como externas.

7. El tipo de uniones y la necesidad de anclaje de las tuberías.

8. Las características de comportamiento hidráulico del proyecto objeto del diseño, incluyendo las presiones de trabajo máximas y mínimas, y las sobrepresiones y subpresiones causadas por golpe de ariete.

9. Las condiciones económicas y financieras del proyecto.

10. La vida útil de las tuberías.

11. Para las tuberías de hierro dúctil se debe utilizar un recubrimiento interno de mortero de cemento.

12. El material de las tuberías y accesorios debe elegirse teniendo en cuenta las características que éstas 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 inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto, así como la seguridad y la vulnerabilidad de la tubería.

El diseñador debe conocer las características que presentan los distintos materiales disponibles para conductos a presión, la disponibilidad de accesorios y elementos de control. En este aspecto, se podrán utilizar tuberías de materiales comerciales siempre y cuando se conozcan las características técnicas de cada material y se cumplan con las normas técnicas nacionales o internacionales.

En la Tabla 3.5 se muestran algunas de las normas técnicas nacionales e internacionales sobre tuberías. Éstas deben cumplirse, pero siempre dando prioridad a la Norma Técnica Ecuatoriana correspondiente, en caso de que ésta exista.

Tabla 3. 5: Especificaciones y normas técnicas sobre tuberías.

Material de la Tubería	Norma Ecuatoriana	Normas Internacionales
HIERRO DÚCTIL – HD		ISO 2531 y conexas
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD – PEAD	NTE INEN 1744:2009	ISO 4427 y conexas
POLIVINILO DE CLORURO - PVC	NTE INEN 1373-2016	ISO 4065 ISO 3606 ISO 161-1
1) Norma NTE INEN 1744:2009:” TUBOS DE POLIETILENO PARA CONDUCCION DE AGUA A PRESION. REQUISITOS” 2) Norma NTE INEN 1373-2016: “TUBERIA PLASTICA. TUBOS Y ACCESORIOS DE PVC RIGIDO PARA PRESION.” 3) Norma ISO 2531: “TUBERÍA EN HIERRO DÚCTIL” 4) Norma ISO 4427: “SISTEMA DE TUBERÍAS PLÁSTICAS. TUBOS DE POLIETILENO (PE) Y CONEXIONES PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA” 5) Norma ISO 4065: “Tubos termoplásticos - Tabla de espesor de pared universal” 6) Norma ISO 3606: “TUBERÍAS DE CLORURO DE POLIVINILO (PVC) SIN PLASTIFICAR - TOLERANCIAS EN DIÁMETROS EXTERIORES Y ESPESORES DE PARED” 7) Norma ISO 161-1: “TUBOS TERMOPLÁSTICOS PARA EL TRANSPORTE DE FLUIDOS - DIÁMETROS NOMINALES EXTERNOS Y PRESIONES NOMINALES”		

Fuente: Autor

3.4.5 Presiones en la red de distribución

Para el diseño de las redes de distribución se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Las presiones mínimas en los puntos y condiciones más desfavorables de la red se encuentran establecidas según su área de dotación explicada en la tabla 3.6.

Tabla 3. 6: Presiones mínimas en las áreas urbana, periurbana y rural.

Presiones Mínimas.		
Área Urbana	Área Periurbana	Área Rural
20 m.c.a	20 m.c.a	10 m.c.a

Fuente: Autor

2. La presión estática máxima, no deberá, en lo posible, ser mayor a 70 m. de columna de agua y presión máxima dinámica, 50 m.c.a. para la hora de máximo consumo. Para lograr esto, la red deberá ser dividida en varias zonas de presión interconectadas mediante estructuras o equipos reductores de presión convenientemente localizados.

3. La utilización de presiones diferentes a las indicadas en los numerales anteriores deberán ser justificados plenamente

4. La empresa pública ETAPA-EP garantiza la prestación del servicio únicamente hasta edificaciones con dos (2) pisos de altura, en las condiciones especificadas en los puntos 1 y 2 de este numeral. Los edificios de más de dos (2) pisos de altura deben

contar con su propio sistema interno de abastecimiento de agua potable. En ningún momento se permite el bombeo directo desde la red de distribución.

3.4.6 Diámetros de las tuberías en la red de distribución

Para el cálculo hidráulico y el diseño de la red de distribución, se deben utilizar los diámetros reales internos de las tuberías y los coeficientes de rugosidad para cada uno de los materiales que podrían formar la red de distribución.

Con respecto a los diámetros de las tuberías de la red de distribución se deben tener en cuenta, desde la etapa de diseño, los siguientes aspectos:

1. El diámetro nominal mínimo de las tuberías será de 63 mm en zonas urbanas y en zonas rurales se aceptarán diámetros mínimos de 32mm.
2. En todos los casos los diámetros deben asegurar una capacidad suficiente para atender el caudal máximo diario QMD más los caudales de incendios, garantizando las presiones máximas y mínimas durante todo el período de diseño del proyecto. Las redes serán comprobadas con el caudal máximo horario QMH en periodos extendidos.

3.4.7 Velocidades en las tuberías de la red de distribución

Para la velocidad máxima deberá verificarse que la pérdida de carga acumulada (tubería más accesorios) no supere los 15 m de columna de agua por kilómetro de red ($< 15 \text{ mca/km}$).

3.4.8 Profundidad de instalación de las tuberías a la cota clave

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

1. La profundidad de instalación de las tuberías debe establecerse considerando las solicitaciones producidas por el tráfico, así como también los cruces con otras instalaciones subterráneas. Se adoptará en la zona urbana una profundidad mayor a 1 metro.
2. En casos excepcionales en donde no sea posible colocar la tubería de la red de distribución a una profundidad superior a 1 metro., el diseño debe prever los elementos de protección que aseguren que la misma no estará sometida a cargas superiores a las recomendadas por el fabricante.

3. En caso de que tuberías de la red de distribución estén instaladas en terrenos con variaciones de nivel freático cuyas variaciones temporales superen la cota clave de la tubería se debe tener en cuenta que podrán ocurrir levantamientos locales debidos a la subpresión. En este caso el diseño debe prever el tipo de sello de la tubería adecuado para presiones negativas en estas condiciones y la colocación de los correspondientes anclajes.
4. En caso de que se utilicen tuberías plásticas sensibles a la luz ultravioleta, estas deben necesariamente estar enterradas, en caso de existir tramos de la red que deban estar expuestos a la radiación ultravioleta estas deberán estar debidamente protegidas con estructuras aislantes de los rayos ultravioleta preferiblemente metálicas y para casos de protecciones temporales se aceptara el uso de pinturas libres de estabilizantes con plomo.
5. Todos los pasos a través de quebradas, ríos, canales deben, en lo posible, estar por debajo del lecho de estos elementos, con el fin de minimizar los pasos aéreos a los estrictamente necesarios, teniendo en cuenta aspectos de seguridad, vulnerabilidad, estética y menor costo de instalación, manteniendo el mismo material de la red de distribución y con todos los elementos de seguridad, vulnerabilidad, estética que ameriten. En estos casos se debe prever la colocación de hitos de hormigón y de cintas plásticas que permitan ubicar correctamente el cruce.

3.5 DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

La planificación necesaria para el diseño de las redes de distribución requiere la determinación previa de zonas de presión para el abastecimiento de agua de acuerdo al numeral 3.4.5, el diseño de la red principal y secundaria de manera de conformar subsectores de distribución y la aplicación de cualquiera de los siguientes métodos de cálculo, además de hacer comprobaciones extendidas en el tiempo de funcionamiento hidráulico de redes, reservas y conducciones. Las constantes de variación horaria se presentan en el numeral 3.4.2.

Por temas de operación se definen como tuberías principales aquellas que sean de un diámetro mayor o igual a 160 mm (6 pulgadas), y como tuberías secundarias aquellas cuyo diámetro sea menor a los 160mm (6 pulgadas).

Además, el diseñador deberá considerar de forma obligatoria la interconexión de las tuberías principales entre sectores de distribución, a través de válvulas de seccionamiento definidas en el numeral 3.7.2.2, con la finalidad de asegurar una interconexión alterna para casos de emergencia.

3.5.1 Cálculo de caudales por nudo

Para propósitos de diseño de nuevas redes de distribución de agua potable, la determinación de los caudales de consumo para cada uno de los nudos de la red debe efectuarse utilizando alguno de los siguientes tres métodos:

1. Método de las áreas

En este método se determinan las áreas de influencia correspondientes a cada uno de los nudos de la red, para luego aplicar el caudal específico unitario (en litros por segundo por hectárea l/s/ha) determinado para cada tipo de uso de abastecimiento y correspondiente al período de diseño del proyecto.

Se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$Q_i = A_i \times Q_e \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde,

Q_i = Caudal de consumo en el nudo i (l/s).

Q_e = Caudal específico por unidad de superficie (l/s/ha).

A_i = Área de influencia o área abastecida por el nudo i (ha).

El área de influencia es aquella determinada de acuerdo a las características topográficas, hidrográficas u otras, particulares de la zona de la red de distribución; alternatively, el diseñador podrá justificadamente adoptar un método de selección de áreas de influencia delimitada por cada una de las mediatrices de los tramos que llegan al nudo o punto singular, generando los polígonos de Thiessen.

2. Método de la carga unitaria

Este método incluye el conteo de clientes (o hectáreas con un uso de tierra dado, o un número de unidades de consumo) que contribuyen a la demanda de agua en un nudo dado y luego multiplicarlo por una demanda unitaria aplicable a la clasificación de consumo; por ejemplo, se puede utilizar el concepto de dotación en l/Hab/día.

3. Método de la repartición media

Mediante este método se definen en principio los caudales de consumo en cada uno de los tramos de toda la red de distribución (tuberías principales, tuberías secundarias y ramales abiertos) y se asignan los caudales de las tuberías y ramales abiertos de acuerdo con una distribución lógica de flujo. Dichos caudales se reparten por mitades a cada uno de los nudos extremos de los tramos respectivos.

Los tres métodos anteriores también deben aplicarse para el caso de extensiones de redes de distribución de agua potable existentes.

3.5.2 Cálculo hidráulico de tuberías simples

3.5.2.1 Cálculo de las pérdidas por fricción

Se recomienda utilizar para el cálculo del diámetro de las tuberías de las redes de distribución, la ecuación de Hazen-Williams mostrada a continuación:

$$H = 10,674 * \left[\frac{Q^{1,852}}{(C^{1,852} * D^{4,871})} \right] * L \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde:

L = Longitud de la tubería (m).

Q = Caudal (m³/s).

C = Coeficiente de Hazen-Williams.

D = Diámetro de la tubería (m).

Para obtener el coeficiente de Hazen-Williams utilizado en la Ecuación 3.7 se usará el coeficiente de Hazen-Williams de 120 (tabla 3.7) para todos los materiales especificados en el plan maestro de 1984 realizado por ETAPA-EP, en el caso de que no exista el coeficiente en el plan maestro para el material que se usara en el proyecto, este coeficiente deberá ser debidamente justificado por el diseñador.

Tabla 3. 7: Coeficientes de Chw para la fórmula de Hazen – Williams

Material de la Tubería	CHW
HIERRO DÚCTIL – HD	120
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD – PEAD	120
POLICLORURO DE VINILO - PVC	120

Fuente: (ETAPA-EP , 1984)

Alternativamente, el cálculo de las pérdidas de energía, debidas a la fricción en una tubería o conducto cilíndrico largo, con un interior de diámetro continuo, se podrá usar la ecuación de Darcy – Weisbach, mostrada a continuación:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 3. 8}$$

En donde:

hf = pérdida de carga distribuida en metros de columna del líquido.

D = diámetro interno de la tubería, en m.

f = coeficiente adimensional de pérdida de carga distribuida por fricción.

V = velocidad media de flujo en la sección, en m/s.

g = aceleración de la gravedad en m/s².

El coeficiente de fricción de Darcy, f, para tuberías de sección circular se obtiene utilizando las siguientes ecuaciones:

Para el caso de flujo laminar (Re < 2 000) el coeficiente de pérdida de carga puede ser determinado del diagrama de Moody o calculado por la fórmula:

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Ecuación 3. 9}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds.

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

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu} \quad \text{Ecuación 3. 10}$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido (kg/m³).

μ = Viscosidad dinámica del fluido (Pa*s).

v = velocidad del fluido en (m/s).

D = Diámetro de la tubería (m).

En la Tabla 3.8 se dan los valores de la densidad y la viscosidad absoluta del agua como función de la temperatura media de ésta, los cuales deben utilizarse durante el diseño de las líneas de conducción.

Tabla 3. 8: 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

Fuente: (CPE INEN 5 Parte 9-1:1992, 1992)

En la zona crítica, cuando ($2\ 000 < Re < 4\ 000$), el coeficiente de pérdida de carga distribuida f , para conductos de cualquier sección y diámetro hidráulico D , con paredes lisas o rugosas se recomienda el uso de la fórmula de Colebrook - White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,7 * D} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ecuación 3. 11}$$

En donde:

k = rugosidad uniforme equivalente en (mm)

D = Diámetro de la tubería (m).

Este coeficiente debe considerar los siguientes factores:

- Material de fabricación de la tubería o conducto
- Proceso de fabricación de la tubería
- Naturaleza del líquido a ser conducido
- Edad del conducto o tubería (tiempo de servicio)

Se recomienda utilizar el coeficiente k de rugosidad equivalente, según lo indicado en la tabla 3.9:

Tabla 3. 9: Coeficiente k de rugosidad.

TIPO DE CONDUCTO	K
Tubería galvanizada nueva.	0,25
Tubería de hierro fundido nueva y con uniones bien alisadas.	0,31
PVC	0,007
Polietileno	0,0015

Fuente: (CPE INEN 5 Parte 9-1:1992, 1992)

3.5.2.2 Cálculo de las pérdidas menores

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

$$H_m = K * \frac{v^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 3. 12}$$

Dónde:

K = Coeficiente de pérdidas menores.

v = velocidad del fluido en (m/s)

Se presenta la Tabla 3.10 con algunos coeficientes de pérdidas menores para accesorios típicos de conducciones a presión.

Tabla 3. 10: Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes.

Accesorio	K
Válvula de globo, completamente abierta	10,0
Válvula de mariposa, completamente abierta	1,2
Válvula de cheque, completamente abierta	2,5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0,2
Válvula de retención	1,5
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
Te, con reducción	0,56
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

NOTA: Para accesorios diferentes a los mostrados en la tabla anterior, el diseñador debe sustentar el coeficiente de pérdidas menores.

Fuente: (CPE INEN 5 Parte 9-1:1992, 1992), (EPM, 2009), (CONAGUA, 1969)

3.5.3 Recubrimiento y protección de tuberías

En caso de que, por razones geotécnicas, geológicas y de cruce por zonas con alta contaminación, así como en los puntos de cruces de quebradas y otros cuerpos de agua en los cuales las tuberías de las redes de distribución queden expuestas, éstas deben estar protegidas con revestimientos externos para lo cual se debe seguir lo establecido en el Numeral 3.5.3.1.

3.5.3.1 Recubrimientos externos

El diseño de las tuberías de la red de distribución debe incluir un análisis sobre el recubrimiento externo y la protección de las tuberías. Los revestimientos de las tuberías pueden ser: polietileno o polipropileno, resina epóxica, mortero de cemento, etc. Las tuberías de hierro dúctil deben encapsularse en manga de polietileno para aislarlas de las corrientes eléctricas parásitas, siguiendo lo establecido en el manual AWWA M27 “External Corrosión - Introduction to Chemistry And Control”.

En todo caso, ETAPA-EP debe aprobar los recubrimientos externos contenidos en el diseño de la red de distribución. Las siguientes normas describen algunos recubrimientos externos para diferentes materiales de tuberías, tabla 3.11.

Tabla 3. 11: Normas para Recubrimientos externos.

NORMA	NOMBRE
AWWA Manual M41	Ductile-Iron Pipe and Fittings.
AWWA Manual M27	External Corrosion - Introduction to Chemistry And Control.
AWWA C105/A 21.5	Polyethylene Encasement for Ductile-Iron Pipe Systems.
AWWA C303 versión 2002.	Concrete pressure pipe, bar-wrapped, steel-cylinder type
ISO 2531.	Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water or gas applications
ISO 8179-2:1995 confirmed 2010.	Ductile iron pipes. External zinc coating. Part 2. Zinc rich paint with finishing layer
NOTA: Las normas hacen referencia a la versión vigente a la fecha.	

Fuente: (EPM, 2009)

3.5.3.2 Recubrimientos internos

El diseño de las tuberías y accesorios de la red de distribución debe incluir un análisis sobre el recubrimiento interno y la protección de las tuberías, el cual debe ser previamente aprobado por las Empresa Publica ETAPA-EP. En el caso de que estos elementos no cuenten con recubrimiento de mortero, generalmente para diámetros reducidos, estos deberán contar con recubrimiento de pintura epóxica que cumplan la

normativa NSF 61, y un espesor mínimo de 10 mils o 254 micrones. En general se podrán usar los materiales que se describen en las siguientes normas, con el fin de proteger internamente las tuberías, tabla 3.12.

Tabla 3. 12: Normas para Recubrimientos internos.

NORMA	NOMBRE
AWWA C104/A21.4	Cement-Mortar Lining for Ductile-Iron Pipe and Fittings for Water
AWWA C116/A 21.16	Protective Fusion-Bonded Epoxy Coatings Int. & Ext. Surf. Ductile-Iron/Gray-Iron Fittings
AWWA D104	Automatically Controlled, Impressed-Current Cathodic Protection for the Interior of Steel Water Tanks
AWWA C550	Protective Epoxy Interior Coatings for Valves and Hydrants
NOTA: Las normas hacen referencia a la versión vigente a la fecha.	

Fuente: (EPM, 2009)

3.5.4 Golpe de ariete en las redes de distribución

Una vez que se haya finalizado el proceso de diseño de la red de distribución, debe hacerse un análisis de golpe de ariete con el fin de verificar que en ninguna tubería se produzcan presiones por encima de aquellas admitidas por los materiales de las tuberías que conforman la red, evitando posibles estallidos de ésta. También se debe verificar que en ninguna tubería se produzcan presiones negativas con el fin de evitar el posible ingreso de agua contaminada a la red de distribución. Este análisis se debe hacer para aquellos subcircuitos y circuitos que tengan al menos una tubería con una velocidad, para la condición de caudal máximo horario, superior a 2,5 m/s. Además, el diseño debe tener en cuenta las consideraciones dadas en los siguientes numerales.

3.5.4.1 Análisis de golpe de ariete

El análisis de golpe de ariete se debe hacer en aquellos casos en que se construyan o diseñen redes nuevas o en el caso en que se diseñen ampliaciones a redes existentes. El principal propósito del análisis de golpe de ariete en las redes de distribución es especificar los tiempos de maniobra de los dispositivos de control, con el fin de seleccionar la alternativa que ofrezca el menor riesgo contra los efectos de golpe de ariete, al costo mínimo. El diseño debe establecer qué dispositivos de control de golpe de ariete y protección contra sobrepresiones y subpresiones se deben colocar en la red.

3.5.4.2 Condiciones para el cálculo de golpe de ariete

El análisis del golpe de ariete en las redes de distribución objeto del diseño debe hacerse para sus condiciones normales de operación, al igual que para condiciones excepcionales causadas por posibles emergencias u operaciones especiales de mantenimiento. Dentro de las condiciones normales de operación se encuentran las siguientes:

- a. Operación de válvulas en la red de distribución.
- b. Encendido y apagado de bombas en redes de distribución alimentadas por bombeo.

Entre las condiciones excepcionales causadas por posibles emergencias u operaciones de mantenimiento especiales se encuentran las siguientes:

- a. Maniobras de cierre o apertura de válvulas de control con el fin de aislar circuitos.
- b. Interrupción súbita de algún bombeo dentro de la red de distribución, cuando ésta es alimentada por bombas.
- c. Apertura y cierre bruscos de hidrantes, válvulas cheque o válvulas de descarga de todo tipo.

3.5.5 Análisis de puntos muertos en la red de distribución

En general, el diseño de nuevas redes de distribución o ampliaciones a éstas no debe permitir la existencia de puntos muertos exceptuando aquellos casos en los cuales se prevean posibles ampliaciones futuras. En el caso de que existan puntos muertos, el diseño debe incluir elementos y accesorios de control que permitan hacer un lavado periódico de la red de distribución en este circuito.

En el caso de existencia de zonas muertas en la red de distribución, el diseño debe incluir el análisis del efecto que dichas zonas tienen sobre la calidad del agua que llega a cada uno de los nudos de la red.

El diseño también debe establecer, para el caso de los puntos muertos, la forma de lavado especificando qué válvulas se deben operar simultáneamente a la apertura de la válvula de purga al final de la zona muerta, con el fin de conseguir las condiciones hidráulicas de velocidad y de esfuerzo cortante que permitan el restablecimiento de la calidad del agua y en lo posible el desprendimiento de las películas biológicas y la suspensión de posibles depósitos inorgánicos al interior de la tubería. El diseño

también debe establecer la frecuencia de lavado y la duración de lavado en cada uno de los puntos muertos de la red. El diseñador debe hacer el estudio de la capacidad del cuerpo receptor del caudal de descarga.

3.5.6 Comprobación de diseño bajo diferentes condiciones de operación

Una vez realizado el diseño, se deberá comprobar su funcionalidad bajo diferentes condiciones de operación hidráulica. Para esto se debe utilizar cualquier programa de análisis de redes de tuberías que utilice la ecuación de Hazen-Williams, teniendo en cuenta que todas las tuberías deben simularse con la medida de su diámetro interno real. Alternativamente el programa puede permitir el uso de la ecuación de Darcy-Weisbach con el coeficiente de rugosidad absoluta correspondiente a cada material de tubería.

El diseño debe comprobarse para los siguientes casos de operaciones hidráulicas:

- 1.** Flujo permanente bajo las condiciones de Q_{md} en el momento de la puesta en marcha del proyecto; y, para períodos de operación, 10, 20 y 30 años en concordancia con lo indicado en el numeral 3.4.1.
- 2.** Caudal Máximo Horario QMH actual y en el período de diseño de la red.
- 3.** Escenarios de operaciones especiales de mantenimiento. En particular se deben tener en cuenta aquellos casos en los cuales estas operaciones impliquen cambios en las condiciones de apertura y cierre de válvulas en la red.
- 4.** Escenarios de operaciones de emergencia, causadas por roturas en tuberías de máxima presión y otras condiciones de operación especiales que impliquen el cambio de sectorización temporal de la red.
- 5.** En los casos de caudales mínimos, la comprobación de diseño se debe hacer bajo la condición de nivel máximo en los tanques que abastecen la red de distribución, mientras que, para los caudales máximos, la simulación se debe hacer bajo la condición de nivel mínimo de 30% en los tanques de abastecimiento.
- 6.** Se comprobarán las presiones de la red de distribución para el caudal máximo diario al final del período de diseño más incendio. Esta verificación se realizará con el número de hidrantes de uso simultáneo, de acuerdo con la tabla 3.17.

7. Se harán comprobaciones extendidas en el tiempo de funcionamiento hidráulico de redes, reservas y conducciones. Las constantes de variación horaria se presentan en el numeral 3.4.2.

3.5.7 Protocolo de pruebas dada por el diseñador

El diseño de una nueva red de distribución de agua potable o una ampliación de una red existente debe incluir un protocolo de pruebas que especifique el tipo de pruebas hidráulicas que se deben hacer al sistema antes de que éste entre en operación. El objetivo del protocolo de pruebas es evitar posibles daños por efectos de transitorios generados durante las pruebas hidráulicas de manera de poder implementar oportunamente las medidas correctivas y/o las recomendaciones de operación necesarias para evitar tales daños.

3.6 OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO

3.6.1 Catastros de las tuberías de la red de distribución

En el caso de diseño de redes de distribución nuevas y ampliaciones de redes existentes con tuberías con diámetros nominales superiores a 250 mm, el eje de estas tuberías debe localizarse con estación total y estacarse en tramos rectos al menos cada 25 metros, en todos los cambios de dirección y en todos los accesorios que conforman la red. Las tuberías deben referenciarse con respecto a los ejes y los paramentos de las vías, previamente verificados por ETAPA-EP.

Todas las tuberías de la red de distribución deben colocarse por las vías, siempre que se cumplan con las disposiciones sobre la separación entre las tuberías de la red de distribución de agua potable y las tuberías o ductos de otras redes de servicios públicos, tal como se establece en el Numeral 3.6.4, en el caso de no poder cumplir con lo establecido deberá contarse con las servidumbres de paso legalmente establecidas.

3.6.2 Análisis de interferencias

En el diseño de la red de distribución, los planos deben contener la localización de interferencias con otros sistemas, tales como: conducciones, redes de alcantarillado y otros servicios públicos existentes, quebradas, ríos, canales y otras estructuras de especial interés.

En caso de ser necesario la verificación de las interferencias con tuberías de agua potable o alcantarillado, los datos del catastro serán avalados por el área de catastros de la infraestructura de ETAPA-EP.

3.6.3 Instalación de las tuberías

El diseño debe analizar todas las condiciones de instalación de las tuberías de la red de distribución, especificando su protección cuando sea necesario. En particular deben analizarse los siguientes aspectos correspondientes a la red de distribución de agua potable:

1. La instalación de tuberías en tramos con pendientes acentuadas, alrededor de 20° o mayores, con el fin de especificar las estructuras soporte y anclaje.
2. La instalación de tuberías en pasos de quebradas u otros cuerpos que conformen el sistema de macro drenaje urbano de la ciudad, sujetos a inundaciones o caudales de avenidas que puedan causar erosión en el recubrimiento de la tubería.
3. La instalación de las tuberías con coberturas de terreno menor a las especificadas en el Numeral 3.4.8 “Profundidad de instalación de las tuberías a cota clave” en los casos de circulación de vehículos con carga que puedan causar daño a la tubería.
4. En la instalación de las tuberías de la red de distribución, en áreas sujetas a inundaciones, o estén instaladas en terrenos con variaciones de nivel freático cuyas variaciones temporales superen la cota clave de la tubería se debe tener en cuenta que podrán ocurrir levantamientos locales debidos a la subpresión. En este caso el diseño debe prever el tipo de sello de la tubería adecuado para presiones negativas en estas condiciones y la colocación de los correspondientes anclajes.

3.6.4 Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos

El diseño debe contemplar las distancias mínimas que deben existir entre los tubos que conforman la red de distribución de agua potable y los ductos de otras redes de servicio tal como se establece a continuación:

1. Las distancias mínimas a la red de alcantarillado sanitario deben ser 3 m horizontal y 0,3 m vertical más alto que la cota clave del alcantarillado.
2. Las distancias mínimas a la red de alcantarillado de aguas lluvias y combinado deben ser 1,5 m horizontal y 0,3 m vertical más alto que la cota clave del alcantarillado.

3. Las distancias mínimas a las redes de comunicación y telefonía, semáforos y de energía eléctrica deben ser 1,5 m horizontal y preferiblemente 0,5 m vertical más alto que estas.

Si no es posible cumplir con estas distancias mínimas, las tuberías de las redes de distribución de agua potable deben ser revestidas exteriormente con una protección a todo lo largo de la zona de interferencia como se indica en el Numeral 3.5.3.

3.7 ACCESORIOS PARA LAS TUBERÍAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

3.7.1 Aspectos generales

Los accesorios de la red de distribución de agua potable son elementos complementarios para la conformación de dichas redes y la operación y control de la red, e incluyen uniones, codos, reducciones, ampliaciones, válvulas y otros dispositivos de control, anclajes, etc.

Las tuberías de la red de distribución y sus accesorios deben ser compatibles entre sí, con respecto a las normas de fabricación, presiones de trabajo, las dimensiones (diámetros, espesores, sistemas de unión) y a la estabilidad electroquímica, si se trata de materiales diferentes.

Con relación a las especificaciones técnicas de los accesorios que van a utilizarse en la red de distribución de agua potable objeto del diseño, éstos deben cumplir con los requerimientos de las Normas Técnicas Ecuatorianas vigentes o de normas técnicas internacionales AWWA e ISO, el diseñador deberá buscar accesorios adicionales que permitan el uso de partes, piezas con diferentes normas de fabricación.

3.7.2 Válvulas

3.7.2.1 Consideraciones generales para las válvulas

El diseño de la red de distribución debe contemplar el uso de válvulas de seccionamiento ubicadas de modo que se cumplan entre otros los siguientes requisitos:

1. El diseñador deberá considerar la existencia de sub-sectorizaciones dentro de la zona de presión mediante la utilización de válvulas necesarias que permitan aislar un subsector sin interferir la operación y mantenimiento de subsectores aledaños.

2. El empalme de todo ramal de derivación con la red de distribución debe tener una válvula de seccionamiento, comprobándose los puntos muertos según lo establecido en el numeral 3.3.1.3.
3. Debe analizarse y sustentarse la disposición de las válvulas del diseño teniendo en cuenta la flexibilidad de operación del sistema y la economía del diseño para reducir la cantidad de válvulas a un mínimo indispensable.
4. Todas las redes de distribución de agua potable, siguiendo criterios de diseño por zonas de presión, deben tener sub-sectorizaciones conectados entre sí en sus redes principales y aislados a través de válvulas de seccionamiento en condición cerrada. El propósito de estas válvulas es tener formas redundantes de distribución de agua en situaciones de emergencia.
5. En caso de que la tubería de abastecimiento a un subsector tenga presión disponible mayor que la presión requerida para la correcta operación hidráulica, se debe colocar una válvula reguladora de presión con todos sus accesorios, en dicha entrada de manera de cumplir con las presiones establecidas en el numeral 3.4.5.
6. En los puntos bajos de la red y en los puntos bajos de sifones invertidos, y en puntos muertos en caso de que estos existan, deben instalarse válvulas de purga y diseñarse las obras necesarias para su adecuado drenaje.
7. En los puntos altos de la red de distribución deben instalarse dispositivos de entrada y salida de aire (válvulas ventosas de multi efecto).
8. Todas las válvulas deben complementarse y protegerse con cámaras con tapa a nivel de la rasante, desagües, ventilación, accesos adecuados según la magnitud de la instalación y un diseño de cámara adecuado que permita la operación y mantenimiento de todos los elementos de la instalación.
9. Las válvulas utilizadas conceptualmente serán de dos tipos, de control y de seccionamiento.

Las válvulas de control serán del tipo:

- válvulas de admisión o expulsión de aire (ventosas)
- válvulas reguladoras de presión
- válvulas anti retornó

- válvulas de alivio

Las válvulas de seccionamiento serán del tipo:

- Válvulas de compuerta
- Válvulas Mariposa
- Válvulas de bola

En los siguientes numerales se especifican los requisitos para cada uno de estos tipos de válvula.

3.7.2.2 Válvulas de seccionamiento

Estas son las válvulas utilizadas para el cierre o apertura de tramos de tuberías en las redes de distribución secundaria. Se utilizan principalmente para aislar circuitos en procesos de sectorización, situaciones de mantenimiento y situaciones de emergencia.

El diseñador deberá prever la instalación de válvulas de seccionamiento de acuerdo con la sectorización y sub-sectorizaciones diseñadas. En las tuberías secundarias el diseño debe prever una válvula en las interconexiones con las tuberías principales.

El diseño debe analizar la localización de las válvulas teniendo en cuenta la flexibilidad operacional y los costos globales de la red de distribución.

3.7.2.3 Válvulas de control.

- **Válvulas de admisión o expulsión de aire (ventosas)**

Estas válvulas son utilizadas para la admisión y expulsión de aire en los procesos de vaciado y llenado de las tuberías de la red de distribución.

El diseñador deberá asegurarse que cada sector y sub-sectores de distribución cuenten al menos con dos válvulas de ventosa por cada 10 Kilómetros de redes incluidas las redes secundarias, las válvulas de ventosa deberán ser instaladas preferentemente en las redes principales.

Las válvulas de ventosa deberán ser escogidas según los siguientes criterios:

- **Válvulas de Aire Simple**

La capacidad del orificio purgador de la válvula de aire simple o, de una válvula de aire combinada (orificio menor), cuya función se orienta a eliminar de la red el aire,

durante su operación normal, se determina en base a la relación que se recomienda en la literatura técnica (Mateos, 1989)

Tabla 3. 13: Relación entre el caudal de agua en la tubería y la capacidad del purgador de aire simple

CAUDAL, Tubería	Q Purgador
$0 < Q < 75$ l/s	6% Q
$75 < Q < 150$ l/s	5% Q
$150 < Q < 350$ l/s	2% Q
$350 < Q < 3500$ l/s	1,5% Q
$3500 < Q$	1,2% Q

Fuente: (Mateos, 1989)

Con el valor de caudal de aire determinado, y considerando la presión dinámica en la línea de agua (Mateos, 1989), se ingresa en los ábacos de los fabricantes para la selección de las dimensiones de las válvulas de purga de aire simple. Alternativamente se podrá asumir las dimensiones de estas válvulas, de acuerdo con la tabla siguiente:

Tabla 3. 14: Dimensiones de válvulas de aire simple, en relación con el diámetro nominal de la tubería, en la cual va instalada

Tubería DN	Caudal del purgador simple de aire (CAE)		Diámetro orificio purgador		Diámetro. Entrada de la válvula.	
			(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)
63 PVC	0,10 l/s	0,006 m ³ /min	1/16	1,56 mm	1pulg	25 mm
90 PVC	0,30 l/s	0,018 m ³ /min	1/16	1,56 mm	1pulg	25 mm
110 PVC	0,51 l/s	0,031 m ³ /min	1/16	1,56 mm	1pulg	25 mm
160 PVC	1,36 l/s	0,082 m ³ /min	1/16	1,56 mm	1pulg	25 mm
200 PVC	2,44 l/s	0,146 m ³ /min	1/8	3,12 mm	1pulg	25 mm
315 PVC	3,14 l/s	0,188 m ³ /min	3/16	4,69 mm	2pulg	50 mm
400 HD	7,26 l/s	0,436 m ³ /min	7/32	5,47 mm	2pulg	50 mm
500 HD	9,79 l/s	0,587 m ³ /min	7/32	5,47 mm	2pulg	50 mm
600 HD	15,81 l/s	0,949 m ³ /min	7/32	5,47 mm	2pulg	50 mm

Fuente: (Mateos, 1989)

Calculo de la capacidad de expulsión y admisión de aire (válvulas combinadas) y triple acción.

De acuerdo a la literatura técnica (Mateos, 1989) se considera de igual magnitud el caudal de expulsión y admisión de aire durante el llenado y vaciado de la tubería respectivamente, e igual al caudal de llenado de la tubería, que en los conductos a gravedad (circulares) viene dado por la siguiente relación:

$$Q = \frac{\sqrt{(PD^5)}}{1000}$$

Donde:

Q caudal de l/s

P pendiente en mm/m

D diámetro de la tubería en mm

Con el valor de caudal de aire determinado, y considerando una presión diferencial máxima de 1,5 m.c.a (MATEOS, 1989), admitido como límite permisible en la tubería, se ingresa en los ábacos de los fabricantes para la selección de las dimensiones de las válvulas combinadas. Alternativamente se podrá asumir las dimensiones de las válvulas combinadas, de acuerdo con la Tabla siguiente:

Tabla 3. 15: Dimensiones de válvulas de aire combinado y triple acción, determinados en relación con el diámetro nominal de la tubería, en la cual va instalada.

Tubería DN	Caudal admisión / expulsión de aire		Caudal orificio purgador (CAE)		DIMENSIONE S VALVULAS AIRE COMBINADA		DIMENSIONES VALVULAS AIRE TRIPLE ACCION		
	l/s	m ³ / min	l/s	m ³ / min	pulg	mm	pulg	mm	
63 PVC	1,6	0,1	0,1	0,0	1 ”	25	1" X 5/64"	25 X 1,95	Roscado (NPT)
90 PVC	5,0	0,3	0,3	0,0	1 ”	25	1" X 5/64"	25 X 1,95	Roscado (NPT)
110 PVC	8,5	0,5	0,5	0,0	1 ”	25	1" X 5/64"	25 X 1,95	Roscado (NPT)
160 PVC	22,6	1,4	1,4	0,1	1 ”	25	1" X 5/64"	25 X 1,95	Roscado (NPT)
200 PVC	40,7	2,4	2,4	0,1	1 ”	25	1" X 5/64"	25 X 1,95	Roscado (NPT)
315 PVC	156,9	9,4	3,1	0,2	2 ”	50	2" X 3/16"	50 X 4,76	BRIDA
400 HD	362,9	21,8	7,3	0,4	3 ”	75	3" X 7/32"	75 X 5,55	BRIDA
500 HD	652,6	39,2	9,8	0,6	4 ”	100	4" X 7/32"	100 X 5,55	BRIDA
600 HD	1054, 1	63,2	15,8	0,9	6 ”	150	6" X 7/32"	150 X 5,55	BRIDA

Fuente: (Mateos, 1989)

3.7.2.4 Válvulas reguladoras de presión

Estas válvulas son utilizadas para regular o reducir la presión en la red de distribución de agua potable. Para el caso de las redes de distribución se deben utilizar válvulas de globo con diafragma.

Cuando existan sectores de distribución dentro de las zonas de presión con presión estática que este fuera del rango especificado en el Numeral 3.4.7 de esta guía, debe contemplarse desde la etapa de diseño la instalación de una válvula reguladora de presión. Esta válvula debe diseñarse de acuerdo con el caudal máximo horario (QMH) para un periodo no mayor a 10 años. Las válvulas reguladoras de presión deben cumplir con los siguientes requisitos:

- 1.** Las válvulas reguladoras de presión deben producir una pérdida de energía de manera de que la presión luego de la válvula se mantenga constante en un valor predeterminado a lo largo del tiempo.
- 2.** Todas las válvulas reguladoras de presión deben ir acompañadas de válvulas de guardia que permitan un ágil mantenimiento y/o cambio de las válvulas.
- 3.** Las válvulas reguladoras de presión deben estar localizadas en cajas que permitan un acceso adecuado para las operaciones de montaje, mantenimiento y operación normal de la red de distribución. Las cajas deben contar con un sistema de drenaje conectado a la red de drenaje o al sistema de alcantarillado. En este sentido se debe tener en cuenta lo establecido en el Numeral 3.7.2.7 de esta guía.
- 4.** Las válvulas reguladoras de presión deben estar complementadas con manómetros instalados de manera de conocer los valores de la presión antes y después de la válvula, los manómetros deberán cumplir lo establecido en el numeral 3.7.5 de esta guía.
- 5.** Se recomienda que, en las estaciones reguladoras de presión, localizadas a la entrada de circuitos o subcircuitos hidráulicos, el diseño cuente con un aparato de medición de caudales.

3.7.2.5 válvulas anti-retorno

En las tuberías de las redes de distribución de agua potable que estén localizadas aguas abajo de una bomba (línea de impulsión de la bomba), deben colocarse válvulas anti-retorno o de retención de contraflujos con el fin de evitar el retroceso del agua, con el

consiguiente vaciado de la tubería y los posibles daños en las bombas o posibles aplastamientos de las tuberías. Las válvulas de anti-retorno también se utilizan a la salida de instalaciones con doble tanque en los cuales, por problemas de diferencia de nivel, pueda entrar agua de un tanque a otro.

3.7.2.6 Válvulas de alivio

Estas válvulas tienen el objetivo de proteger la tubería contra excesos de presión causados por fenómenos de golpe de ariete. Cuando la presión en la tubería supera un límite preestablecido, la válvula se abre generando una caída en la presión piezométrica. El diseñador debe hacer el estudio de la capacidad del cuerpo receptor del caudal de descarga.

3.7.2.7 Cajas de las válvulas

Todas las válvulas que conformen el sistema de distribución de agua potable deben estar colocadas dentro de cajas que deben construirse tan pronto el tramo correspondiente sea colocado y aceptado por ETAPA-EP. Las cajas deben cumplir con los siguientes requisitos:

- 1.** Las cajas de válvulas deben tener un sistema de drenaje dirigido al sistema de alcantarillado o a uno de los cuerpos de agua del sistema de drenaje natural. Deberá verificarse que en ningún caso exista retorno del agua hacia las cámaras.
- 2.** La distancia entre el piso de la caja y la parte inferior del cuerpo de la válvula no debe ser inferior a 0,2 m. Esta condición no debe tenerse en cuenta para el caso de ventosas.
- 3.** Las tapas de las cajas para las válvulas deben calcularse considerando las cargas vivas que van a actuar sobre ellas. Alternativamente, pueden utilizarse tapas de hormigón o metálicas. En el caso de que las cajas contengan equipos de medición especiales, tanto para medición de caudales como para medición de presiones, o equipos de comunicación y transmisión de datos, la tapa de la caja debe ser de seguridad.
- 4.** En caso de que la caja quede localizada en una vía de alto tráfico, su acceso debe hacerse lateralmente desde la vereda. Deben hacerse consideraciones especiales, desde la etapa de diseño para aquellas cajas que estén en zonas verdes o al interior de instalaciones.

3.7.3 Apoyos de las tuberías

En aquellos casos en que el diseño considere la utilización de tuberías no enterradas, deben colocarse apoyos para garantizar la estabilidad de las tuberías y que la deflexión de ésta no supere lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana, o en las normas técnicas internacionales ISO.

Los fabricantes de las tuberías deben especificar la longitud máxima para la colocación de apoyos. De todas formas, los apoyos de las tuberías deben localizarse en los tramos rectos de las tuberías y nunca en las uniones o accesorios de las mismas.

En caso de que se utilicen tuberías plásticas sensibles a la luz ultravioleta, estas deberán estar debidamente protegidas con estructuras aislantes de los rayos ultravioleta preferiblemente metálicas y para casos de protecciones temporales se aceptara el uso de pinturas libres de estabilizantes con plomo.

3.7.4 Macromedidores

El diseño de la red de distribución debe prever la instalación de macromedidores para obtener datos de caudales de consumo que permitan hacer un balance de aguas en la red de distribución. Dicho balance es vital para la operación y el mantenimiento de la red, así como para su planeación futura, lo mismo que para implementar un programa de control de fugas y reducción del índice de agua no contabilizada.

Los macromedidores deben ser de tipo electromagnético o ultrasónico de sondas intrusivas.

Para la instalación de los macromedidores en la red de distribución, el diseño debe tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. Los puntos de medición de caudal deben estar aguas abajo de la salida de los tanques. En estos casos se requiere la transmisión de datos de caudal medido en los macromedidores vía telemétrica y que guarde compatibilidad con los sistemas utilizados por ETAPA-EP. Los puntos de medición de caudal también deben estar localizados en aquellos sub-sectores en los cuales se tenga la condición de una longitud de red semejante a 20 km o el número de acometidas alrededor de 1500.
2. Los macromedidores deben tener estructuras adecuadas para su instalación. Estas estructuras son:

- a. Conos de reducción y expansión para obtener velocidades adecuadas, en el punto de medición, las cuales deben ser mayores que 0,5 m/s con el caudal mínimo nocturno para las condiciones actuales, lo cual repercute para tener una mayor exactitud en el punto de medida. Estos conos deben tener ángulos de inclinación menores que 8° , con el fin de no afectar el perfil de velocidades y mantener las presiones menores bajas.
- b. Tramo recto de tubería libre de accesorios, equivalente en longitud a las especificaciones del macromedidor a instalar sugeridas por el fabricante, aguas arriba y aguas abajo de la ubicación del macromedidor.
- c. Sección de verificación, para la comprobación del estado del medidor electromagnético o ultrasónico, utilizando medidores de flujo ultrasónicos portátiles durante el tiempo que se considere necesario.
- d. Instalación de válvulas de cierre aguas abajo del medidor para que sea posible verificar el cero del equipo.
- e. Instalación de tomas para el análisis de agua en un sitio definido, que no altere la medición del caudal.

3.7.5 Manómetros

Para medir la presión se recomienda el uso de manómetros con las siguientes características:



Figura 3. 3: Manómetro
Fuente: (AMETEK, Inc., 2013)

Tabla 3. 16: Características Generales de Manómetros.

Exactitud	+/- 2% del total de la escala, ASME B40.100-2005 grado B
Elemento	Tubo bourdon de bronce
Conexión	Bronce 1/4" N.P.T inferior
Mecanismo	Bronce
Caja	Lámina de acero esmaltado negro.
Bisel	A presión de lámina de acero esmaltado negro
Ventana	Acrílico
Caratula	Aluminio fondo blanco, números negros/rojos.
Aguja	Aluminio esmaltado negro
Diámetro mínimo.	Ø 63 mm (2 1/2")
Unidades de medición	Doble escala, Kg/cm ² ;psi
Rango de medición	El manómetro deberá permitir lecturas de hasta el doble de la presión de trabajo requerida; o, 200 psi.
Factor de escala	La escala de la caratula debe permitir hacer lecturas de presión en el rango de decenas.
Nota: El interior del manómetro debe estar lleno de glicerina.	

Fuente: (AMETEK, Inc., 2013)

Como determinar la capacidad máxima del manómetro.

Se utilizará lo recomendado en el siguiente gráfico.

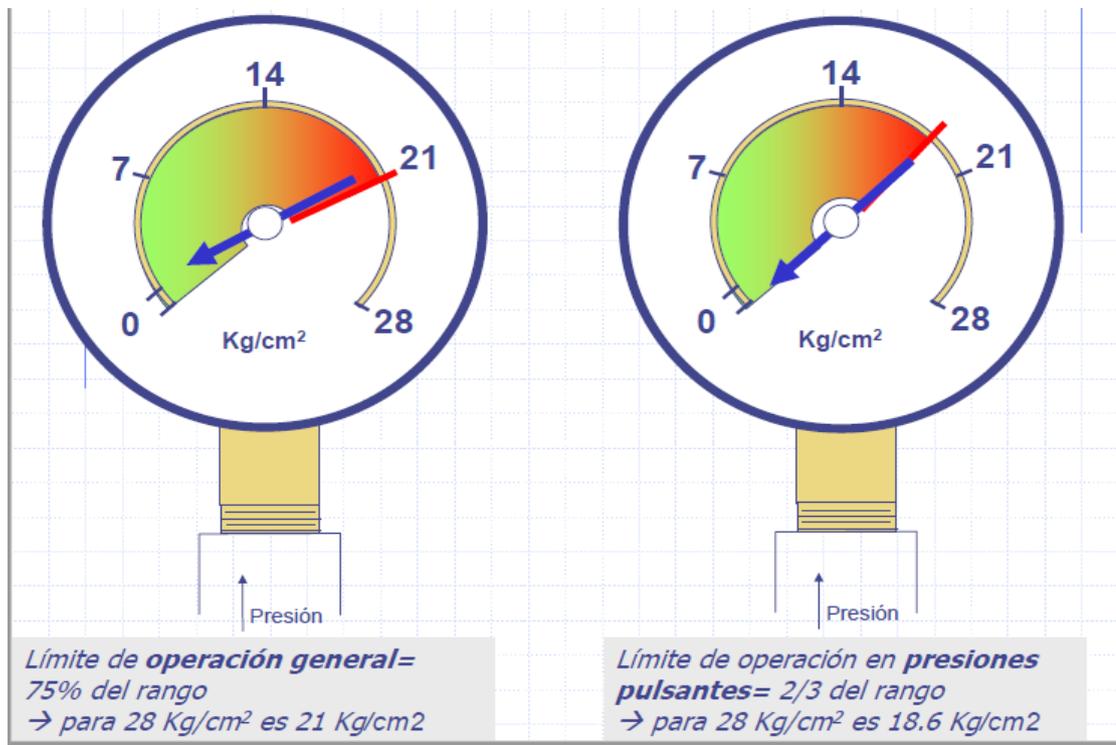


Figura 3. 4: Capacidad Máxima del Manómetro.

Fuente: (AMETEK, Inc., 2013)

3.7.6 Hidrantes

3.7.6.1 Aspectos generales de los hidrantes

Los hidrantes proyectados desde la etapa de diseño de la red de distribución de agua potable deben ser de 100 milímetros de diámetro, y deben controlarse por válvulas del mismo diámetro.

3.7.6.2 Capacidad hidráulica de los hidrantes

Los caudales necesarios para cubrir esta demanda variarán con el tamaño de la población del sub-sector de distribución. Se usarán, como guía, los valores de la tabla 3.17:

Tabla 3. 17: Caudales necesarios contra incendios en función de los hidrantes

POBLACIÓN FUTURA Miles de hab.	HIDRANTES EN USO SIMULTANEO l/s	HIPÓTESIS DE DISEÑO
10 a 20	Uno de 12	
20 a 40	Uno de 24	Uno en el centro
40 a 60	Dos de 24	Uno en el centro y otro periférico
60 a 120	Tres de 24	Dos en el centro y otro periférico
> 120	Cuatro de 24	Dos en el centro y dos periféricos

Fuente: (CPE INEN 5 Parte 9-1:1992, 1992)

3.7.6.3 Localización de los hidrantes

El diseño de la red de distribución de agua potable, debe garantizar que la localización de hidrantes cumpla con los siguientes requisitos:

1. El espaciamiento entre hidrantes estará entre 200 m y 300 m.
2. Los hidrantes deben instalarse sobre la vereda o en una zona verde anexa a éste.
3. Cuando los hidrantes se coloquen en la vereda, no deberán estar apegados a ningún tipo de estructura que impida su operación y mantenimiento.
4. Las bocas de salida de los hidrantes deben quedar apuntando hacia la calle.
5. Para la correcta colocación del hidrante, el diseño debe prever tantas extensiones como sean necesarias para que el hidrante quede saliente en su totalidad por encima del nivel de la rasante del terreno.

3.7.6.4 Presión en los hidrantes

El diseño de la red de distribución debe garantizar, que para las condiciones del Caudal Máximo Horario QMH del sub-sector de distribución, proyectado al período de diseño de la red de distribución, la presión mínima en los hidrantes debe ser 20 m.c.a. (28 psi).

El hidrante será pintado de color amarillo correspondiente a la presión máxima de servicio de 70 metros de columna de agua.

3.7.6.5 Instalación y anclaje de los hidrantes

En la base del hidrante, el diseño de la red de distribución debe prever la construcción de un anclaje especial, de acuerdo con el tipo de suelo. El hidrante debe asegurarse en el pie con un anclaje de concreto.

3.7.7 Estructuras complementarias para las redes de distribución

Las redes de distribución de agua potable de la Empresa Pública ETAPA-EP deben contemplar estructuras complementarias con el objetivo de garantizar una correcta prestación del servicio.

3.7.7.1 Anclajes

Los anclajes son necesarios para garantizar la estabilidad de las tuberías y los accesorios que conforman la red de distribución, en los sitios donde ocurran cambios de dirección de flujo, disminución de diámetros de tubería, aumento de diámetros de tubería, división de caudales, en aquellos sitios en los cuales la tubería no cuente con los mecanismos necesarios para soportar los esfuerzos hidrodinámicos causados por estos cambios en el flujo, o en sitios en los cuales la tubería no se encuentre lo suficientemente profunda para que su interacción con el suelo le permita trabajar a fricción.

Adicionalmente, para los anclajes deben aplicarse las especificaciones indicadas a continuación, que fueron calculadas y utilizadas por el SOAS para las presiones especificadas en el numeral 3.4.5.

- **Para las presiones indicadas en el numeral 3.4.5 y resistencia del suelo de 1 (kg/cm².)**

1. Todos los accesorios como: codos, tees, válvulas, tapones deberán ser anclados.

2. El anclaje deberá estar cimentado en suelo no alterado
3. El concreto será de 300 Kg. /cm²
4. Todos los accesorios deberán estar forrados de papel o plástico antes de la colocación de hormigón
5. Se deberán proteger los pernos y tuercas de las juntas (de haberlas), los cuales no quedarán embebidos como se observa en la figura 3.5.

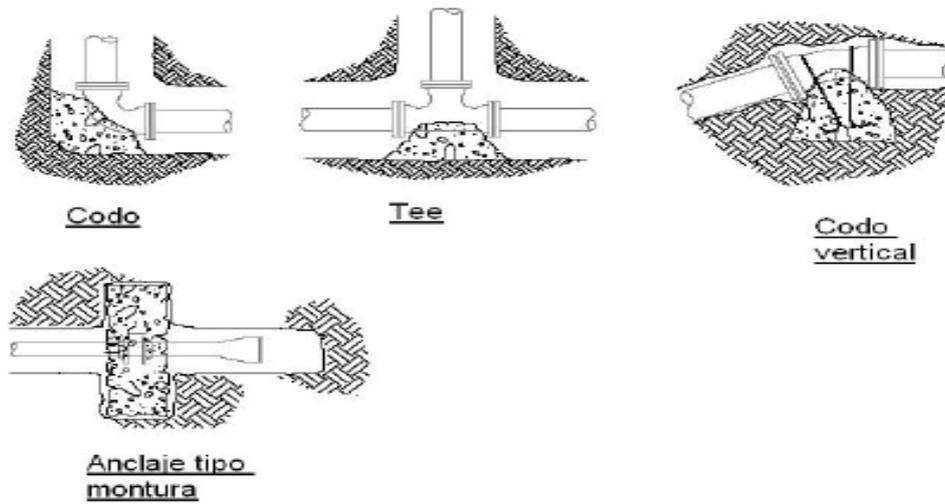


Figura 3. 5: Tipos de anclaje según diferentes tipos de unión.
Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019).

Las cantidades necesarias de hormigón para anclaje, está especificado en los siguientes cuadros:

Tabla 3. 18: Volumen de los bloques de anclaje. (m³)

DIAMETRO (MM)	TEE	CODOS				TAPON
		90 grados	45 grados	22,5 grados	11,25 grados	
63	0,13	0,18	0,10	0,05	0,03	0,13
110	0,36	0,56	0,30	0,16	0,08	0,40
160	0,84	1,19	0,64	0,33	0,16	0,84
200	1,31	1,85	1,00	0,51	0,26	1,31
250	2,05	2,89	1,57	0,80	0,40	2,05
315	3,25	4,59	2,49	1,27	0,64	3,25
400	5,24	7,41	4,00	2,04	1,03	5,24
500	8,18	11,57	6,26	3,19	1,60	8,18
600	11,78	16,66	9,02	4,60	2,31	11,78

Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019)

Tabla 3. 19: Área efectiva para bloques de anclaje. (m²)

DIAMETRO (MM)	TEE	CODOS				TAPON
		90 grados	45 grados	22,5 grados	11,25 grados	
63	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093
110	0,121	0,167	0,093	0,093	0,093	0,121
160	0,260	0,372	0,204	0,102	0,093	0,260
200	0,465	0,660	0,286	0,186	0,093	0,465
250	0,757	1,073	0,547	0,297	0,149	0,757
315	1,050	1,486	0,808	0,409	0,204	1,050
400	1,867	2,638	1,431	0,725	0,362	1,867
500	2,889	4,125	2,230	1,143	0,576	2,889
600	4,199	5,946	3,214	1,644	0,827	4,199

Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019)

Tabla 3. 20: Accesorios Verticales.

DIAMETRO (MM)	VARILLA (MM)	LONGITUD EMBEBIDA	NUMERO VARILLAS
63 - 315	12	75 cm	4 - 6
315 - 600	14	91 cm	6 - 8

Fuente: (SOAS ETAPA-EP , 2019)

3.7.7.2 Estructuras especiales para protección de tuberías

El diseñador debe garantizar la seguridad, operación y mantenimiento de las tuberías para lo cual deberá analizar el nivel de riesgos en los cuales están sometidas las tuberías y diseñar las estructuras especiales necesarias y suficientes según la complejidad del caso.

3.8 ASPECTOS A CONSIDERAR EN LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

El diseñador debe establecer en el protocolo de pruebas aquellas condiciones que se deben medir y se deben cumplir, especificando el grado de precisión de las mediciones, para la puesta en marcha de las redes de distribución de agua potable, cuando se trate de una línea nueva o ampliaciones de las redes existentes. Las pruebas deberán realizarse bajo la supervisión y en coordinación con el área de operación y mantenimiento de la empresa ETAPA-EP.

3.8.1 Presiones en la red de distribución

3.8.1.1 Pruebas hidrostáticas

Una vez que finalice la instalación de la tubería de la red de distribución, y siguiendo el protocolo de pruebas establecido por el diseño, ésta debe presurizarse hasta el nivel máximo de la presión estática que va a soportar durante su vida útil, con el fin de verificar su estanqueidad y si existen problemas en las uniones, las juntas, los accesorios, válvulas etc. Igualmente debe verificarse el correcto funcionamiento de los anclajes, de acuerdo con el protocolo de pruebas. Estas pruebas pueden hacerse por tramos de la red, aislados mediante válvulas. Es responsabilidad del diseñador establecer la norma o estándar internacional bajo el cual se debe llevar a cabo dicha prueba.

3.8.1.2 Presiones dinámicas y alturas piezométricas

Con el fin de verificar lo establecido en el protocolo de pruebas del diseño de la red de distribución, el departamento de control de operaciones del SOAS, debe medirse la altura piezométrica en diferentes puntos de la red para condiciones extremas de flujo, incluyendo el caudal máximo horario (QMH) extendido al período de diseño del proyecto, el caudal medio diario (Qmd) tanto para el período de diseño de la red como para las condiciones iniciales, el caudal mínimo nocturno para las condiciones actuales y en general cualquier otra condición de flujo, resultado de operaciones especiales, recomendadas en el protocolo de pruebas. En todo caso, los puntos que se midan deben incluir aquellos nudos que, de acuerdo con el diseño, presenten las presiones máximas y las presiones mínimas para cada una de las condiciones de operación hidráulica de la red.

Los datos sobre alturas piezométricas tomados en esta prueba, de la nueva red de distribución de agua potable, deben ser confrontados con aquellos arrojados por el modelo hidráulico de diseño el cual debe ser entregado previamente, operando bajo las mismas condiciones de diseño.

3.8.2 Desinfección de la red de distribución

Antes de poner en servicio cualquier red de distribución o ampliación a redes de distribución existentes, ésta debe ser desinfectada. La desinfección debe ser hecha por

el constructor de la red de distribución. Para la desinfección de la red deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Antes de la aplicación del desinfectante, la tubería debe lavarse haciendo circular agua a través de ellas, descargándola por las válvulas de purga, o por otros puntos de salida 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 una de las formas autorizadas de cloro (hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio) como desinfectante. La concentración al final del tramo debe alcanzar hasta un valor de 1,5 mg/L.
4. Una vez que se haya hecho la cloración y se dejara pasar un período mínimo de 24 horas, luego del cual debe descargarse completamente la tubería.
5. Se analizará en cada caso la disposición final del agua residual del proceso de desinfección.

3.8.3 Golpe de ariete

Una vez finalizada la instalación de la red de distribución de agua potable, debe hacerse una prueba para verificar lo establecido en el protocolo de pruebas del diseñador con respecto a fenómenos de golpe de ariete. Esta prueba debe llevarse a cabo en las condiciones previstas en el estudio de transientes con respecto a la operación de las válvulas que conforman los diferentes circuitos de la red de distribución de agua potable. Se debe verificar que las presiones estén dentro de los rangos calculados y que las estructuras de atenuación de los fenómenos de golpe de ariete estén operando adecuadamente.

3.8.4 Hidrantes

Una vez finalizada la construcción de la red de distribución de agua potable o una ampliación de ésta, de ser el caso, debe verificarse la operación de los hidrantes.

Para cada uno de los hidrantes que forman parte de la red de distribución deben verificarse los siguientes aspectos: presión en el hidrante para diferentes horas del día estando el hidrante cerrado; caudal y presión a la salida del hidrante cuando se encuentre totalmente abierto a la hora estimada de caudal máximo.

3.8.5 Macromedidores

Antes de proceder a la instalación de los macromedidores en la red de distribución de agua potable, tanto de caudal como de presión, ya sea a la salida de las plantas de tratamiento o a la entrada de cada uno de los sectores y sub-sectores de la red de distribución, ETAPA-EP deberá asegurarse del correcto funcionamiento de éstos; mediante pruebas certificadas de laboratorio acerca del cumplimiento de la exactitud indicada por el fabricante, que serán entregadas por parte del proveedor.

3.9 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN

El diseño debe establecer la guía inicial de mantenimiento para el adecuado funcionamiento de toda la red de distribución de agua potable y todos los accesorios implementados en esta, como las válvulas de purga, ventosas, apoyos, anclajes, macromedidores, etc.

La guía inicial de mantenimiento debe considerar los siguientes aspectos:

- Mantenimiento preventivo.
- Suspensión del servicio por mantenimiento programado.
- Reparación de Tuberías y Accesorios.
- Mantenimiento de macromedidores.
- Disponibilidad de repuestos.
- Lavado de las redes de distribución.
- Limpieza de tuberías y desprendimiento de biopelículas y/o depósitos inorgánicos.
- Uso de tecnologías de información para labores de mantenimiento.

Conclusiones

- Se determinaron los criterios técnicos de operación y mantenimiento más importantes dentro de las captaciones, haciendo un especial énfasis en el criterio de ubicación. Después de un análisis exhaustivo se determinó que la ubicación es la causante de la mayor cantidad de problemas dentro de las captaciones, debido que si se la ubica en la zona externa de la curva de un río, la mayor cantidad de basuras y sólidos son arrastrados hacia esa zona, provocando constantes taponamientos en las rejillas y gran acumulación de sólidos en los desarenadores. Por lo tanto, se estableció que el diseñador deberá ubicar la captación en zonas rectas del río y en caso de que no sea posible ubicar dicha captación en una zona recta, se deberán diseñar las estructuras de protección necesarias para disminuir los problemas de taponamientos en la rejilla.

Además de definir la complejidad que puede tener una captación en base a la estabilidad de las orillas del río y la turbiedad del agua.

- Al determinar los criterios de operación y mantenimiento más relevantes de las conducciones se estableció como un aspecto muy importante las normas bajo las cuales deben ser diseñados los diferentes elementos que conforman las conducciones, como tuberías, válvulas, juntas, anclajes, etc. Haciendo énfasis en que las normas deberán ser compatibles en su totalidad para el correcto ensamblaje de todos los elementos que conforman la red de conducción.

Igualmente se determinó los estudios previos que debe poseer el diseño de conducciones tales como estudios de suelos, topográficos, geológicos, también parámetro de diseños como las presiones mínimas y máximas, periodo de diseño, tipos de uniones, anclajes. Los cuales son considerados como aspectos muy importantes y que tienen una gran influencia en la posterior operación y mantenimiento del sistema de conducción

- En el caso de los sistemas de redes de distribución igualmente se definieron las normas para materiales de tuberías y accesorios como en el caso de las conducciones, pero los parámetros más importantes en esta guía fue los datos de dotaciones actualizados por parte del SOAS de ETAPA-EP definiendo las zonas de abastecimiento, horas de máximo consumo y la pérdida real que tiene el sistema, obteniendo de esta forma datos que se adaptan más a la realidad de

la ciudad y que permite un mejor diseño de las redes de distribución. Al igual que se definió los métodos de diseño basados en sub-sectores especificando las tuberías principales y secundarias, el sistema de abastecimiento contra incendios y las presiones mínimas y máximas que debe tener el sistema para brindar un servicio de calidad a viviendas de hasta dos pisos, son parte de los parámetros que fueron considerados como críticos para tener en cuenta por parte del diseñador al momento de realizar el diseño de dichos elementos.

- De esta forma se crearon guías de diseño estructuradas con todos los parámetros necesarios para optimizar la posterior operación y mantenimiento de los diferentes sistemas de agua.
- La presente guía incluye criterios importantes de operación y mantenimiento de acuerdo a la realidad de la ciudad de Cuenca, así también, se han incorporado algunos parámetros y datos para el diseño de conducciones y redes de agua potable que son propios de la zona obtenidos en base a la información del funcionamiento de los sistemas recopilada durante varios años en la empresa ETAPA EP.

Recomendaciones

En ETAPA EP existe gran cantidad de información importante para diversos estudios, sin embargo, la misma está dispersa en diferentes áreas de la empresa, por lo que se recomienda la creación de un centro repositorio de información, donde se encuentren todas las normas nacionales e internacionales, estudios y cualquier información adicional, de manera que esté a disposición de los funcionarios para la realización de nuevos proyectos. .

En las reuniones con el comité técnico se determinó la necesidad de realizar cursos de capacitación sobre diferentes temáticas, como: transientes, anclajes, corrosión, golpe de ariete y todos aquellos temas de esta guía que se consideran complejos para diseñadores con poca experiencia, apoyados en las diferentes universidades de la ciudad.

Se recomienda la creación de un comité técnico permanente, conformado por profesionales de los diferentes departamentos con experiencia y conocimiento de los sistemas, para que analicen los grandes proyectos que se diseñen en la empresa, con la finalidad de aportar con nuevos criterios, tanto de diseño, como de operación y mantenimiento, de manera que las obras puedan entrar inmediatamente en operación y se garantice su correcto funcionamiento.

La guía elaborada en este trabajo recoge varios criterios importantes, sin embargo, se recomienda que la misma sea constantemente revisada y actualizada con las nuevas experiencias y tecnologías que surjan con el paso del tiempo.

Se recomienda complementar esta guía con otros temas importantes como: acometidas domiciliarias, estaciones de bombeo, tanques de reserva, macromedidores, válvulas de seccionamiento, manómetros, entre otros.

Bibliografía

- EPM. (2009). *Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de las Empresas Públicas de Medellín*. Medellín.
- AMETEK, Inc. (2013). *Manómetros de frente abierto de acero inoxidable*. Estados Unidos: Keith Valley Road.
- Angisaca, M. F., & Maza, A. X. (2012). *ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE FLUJO EN UNA OBRA DE CAPTACIÓN MEDIANTE EXPERIMENTACION EN UN MODELO FISICO DE ESCALA REDUCIDA. ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROSANBARTOLO*. Cuenca.
- CONAGUA. (1969). *Manual de Hidraulica*. Mexico D.F.
- CONAGUA. (2016). *MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO (FENÓMENOS TRANSITORIOS EN LÍNEAS DE CONDUCCION)*. Mexico D.F.
- CPE INEN 5 Parte 9-1:1992. (1992). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. Quito: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.
- ETAPA-EP . (1984). *PLANES MAESTROS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE CUENCA*. Cuenca-Ecuador.
- ETAPA-EP . (2004). *DISEÑOS DEFINITIVOS DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE MACHANGARA NORTE Y MACHANGARA SUR CONDUCCIONES TIXÁN – EL CEBOLLAR Y PRESEDIMENTADORES – EL CEBOLLAR*. Cuenca- Ecuador.
- ETAPA-EP . (2018). *ESTUDIOS Y DISEÑOS DE ESTACIONES DE MEDICION DE CAUDALES DE AGUA CRUDA EN LAS CAPTACIONES DE LAS PRINCIPALES PLANTAS DE TRATAMIENTO DE CUENCA*. Cuenca.
- FORD METER BOX COMPANY, INc. (2010). Pipe Restraints and Adapter Flanges For PVC, Ductile Iron and Steel Pipe. *Catalogo FOX Accesorios*, 40.
- ISO 2531. (2009). *Ductil Iron Pipes*. Tehran - Iran: Luleh va Machinsazi Iron Co.
- Mateos, M. (1989). *VALVULAS PARA ABASTECIMIENTOS DE AGUAS*. Madrid.
- MinDesarrollo. (2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS - 2000*. BOGOTA D.C.
- NTE INEN 1 744. (2009). *TUBOS DE POLIETILENO PARA CONDUCCIÓN DE AGUA A PRESIÓN. REQUISITOS*. Quito- Ecuador.
- NTE INEN 1373. (2016). *TUBERÍA PLÁSTICA. TUBOS Y ACCESORIOS DE PVC RIGIDO PARA PRESIÓN. REQUISITOS*. Quito-Ecuador.
- Sarmiento, F. (1999). *Corrosión*. Cuenca-Ecuador.

SOAS ETAPA-EP . (2019). *Dotaciones Netas y Brutas promedios para la zona: Urbana, Consolidad y Especial*. Cuenca.

Unisersidad de Alcalá UAH. (24 de septiembre de 2018). Obtenido de Biblioteca:
http://www3.uah.es/bibliotecaformacion/BPOL/FUENTESDEINFORMACION/normas_tcnicas.html

Universidad Autonoma de Barcelona. (14 de diciembre de 1998). Obtenido de ISO
<http://www.ub.edu/geocrit/b3w-129.htm>