

MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

12



MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable

ISBN: 978-607-626-012-8

D.R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209 Col. Jardines en la Montaña
C.P. 14210, Tlalpan, México, D.F.

Comisión Nacional del Agua
Insurgentes Sur No. 2416 Col. Copilco El Bajo
C.P. 04340, Coyoacán, México, D.F.
Tel. (55) 5174-4000

Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento

Impreso y hecho en México

Distribución gratuita. Prohibida su venta.

Queda prohibido su uso para fines distintos al desarrollo social.

Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra,
sin fines de lucro y citando la fuente.

CONTENIDO

Presentación	V
Objetivo general	VII
Introducción al diseño de redes de distribución de agua potable	IX
1. Red de distribución	1
1.1. Componentes de una red	2
1.2. Tipos de proyectos de redes	4
1.3. Esquemas básicos	4
1.4. División de una red de distribución	4
1.5. Formas de distribución	8
2. Componentes de una red de distribución	11
2.1. Tubería	11
2.1.1. Tubería de plástico	13
2.1.2. Tubería de fibrocemento	16
2.1.3. Tubería de hierro fundido	18
2.1.4. Tubería de concreto	19
2.1.5. Tubería de acero	21
2.2. Piezas especiales	23
2.3. Válvulas	24
2.4. Cajas de válvula	31
2.4.1. Caja para líneas de conducción	31
2.4.2. Cajas para cruceros	34
2.5. Hidrantes	50
2.6. Tanques	50
2.6.1. Clasificación de tanques	52
2.6.2. Accesorios de los tanques	53
2.7. Bombas	59
2.8. Pozos	62
2.9. Tomas domiciliarias	62
2.9.1. Componentes	63
2.9.2. Tomas especiales	65
2.9.3. Criterios de selección	67
2.9.4. Instalación de toma domiciliaria	70
2.10. Prueba de hermeticidad	71
3. Análisis hidráulico	73
3.1. Red de tubería en régimen permanente (análisis estático)	73
3.1.1. Caso de una tubería	73
3.1.2. Redes de distribución	78

3.1.3. Métodos de solución	79
3.1.4. Ejemplo 1 Red estática abierta	80
3.1.5. Ejemplo 2 Red estática cerrada	80
3.2. Red de tubería en régimen no permanente (análisis dinámico)	82
3.2.1. Ecuaciones del modelo dinámico	88
3.2.2. Accesorios en la red	92
3.2.3. Ecuaciones por resolver	93
3.2.4. Ejemplo 3 Red dinámica abierta	95
3.3. Recomendaciones en la elección de un programa de simulación hidráulica	98
3.4. Diseño de tanques	99
3.4.1. Localización de los tanques	99
3.4.2. Datos topográficos	100
3.4.3. Capacidad de los tanques de regulación	100
3.4.4. Coeficiente de regulación	100
3.4.5. Dimensionamiento del tanque de regulación	102
3.4.6. Alternativas de dimensionamiento	102
Conclusiones	105
Bibliografía	107
Tabla de conversiones de unidades de medida	109
Ilustraciones	119
Tablas	121

PRESENTACIÓN

Uno de los grandes desafíos hídricos que enfrentamos a nivel global es dotar de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento a la población, debido, por un lado, al crecimiento demográfico acelerado y por otro, a las dificultades técnicas, cada vez mayores, que conlleva hacerlo.

Contar con estos servicios en el hogar es un factor determinante en la calidad de vida y desarrollo integral de las familias. En México, la población beneficiada ha venido creciendo los últimos años; sin embargo, mientras más nos acercamos a la cobertura universal, la tarea se vuelve más compleja.

Por ello, para responder a las nuevas necesidades hídricas, la administración del Presidente de la República, Enrique Peña Nieto, está impulsando una transformación integral del sector, y como parte fundamental de esta estrategia, el fortalecimiento de los organismos operadores y prestadores de los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento.

En este sentido, publicamos este manual: una guía técnica especializada, que contiene los más recientes avances tecnológicos en obras hidráulicas y normas de calidad, con el fin de desarrollar infraestructura más eficiente, segura y sustentable, así como formar recursos humanos más capacitados y preparados.

Estamos seguros de que será de gran apoyo para orientar el quehacer cotidiano de los técnicos, especialistas y tomadores de decisiones, proporcionándoles criterios para generar ciclos virtuosos de gestión, disminuir los costos de operación, impulsar el intercambio de volúmenes de agua de primer uso por tratada en los procesos que así lo permitan, y realizar en general, un mejor aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas del país, considerando las necesidades de nueva infraestructura y el cuidado y mantenimiento de la existente.

El Gobierno de la República tiene el firme compromiso de sentar las bases de una cultura de la gestión integral del agua. Nuestros retos son grandes, pero más grande debe ser nuestra capacidad transformadora para contribuir desde el sector hídrico a **Mover a México**.

Director General de la Comisión Nacional del Agua



OBJETIVO GENERAL

El *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* (MAPAS) está dirigido a quienes diseñan, construyen, operan y administran los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento del país; busca ser una referencia sobre los criterios, procedimientos, normas, índices, parámetros y casos de éxito que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en su carácter de entidad normativa federal en materia de agua, considera recomendable utilizar, a efecto de homologarlos, para que el desarrollo, operación y administración de los sistemas se encaminen a elevar y mantener la eficiencia y la calidad de los servicios a la población.

Este trabajo favorece y orienta la toma de decisiones por parte de autoridades, profesionales, administradores y técnicos de los organismos operadores de agua de la República Mexicana y la labor de los centros de enseñanza.



INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

El agua es un elemento esencial para la vida, por lo que las antiguas civilizaciones se ubicaron a lo largo de los ríos. Más tarde, los avances técnicos le permitieron al hombre transportar y almacenar el agua, así como extraerla del subsuelo. Gracias a esto los asentamientos humanos se han esparcido lejos de ríos y de otras fuentes superficiales de agua.

Actualmente, su uso en las poblaciones es diverso, por ejemplo: para consumo humano, en el aseo personal, la limpieza doméstica y la cocción de los alimentos. Además, se usa para fines comerciales, públicos e industriales; también en la irrigación, la generación de energía eléctrica, la navegación y en recreación.

De la misma forma en que ha evolucionado el uso del agua lo ha hecho el término 'abastecimiento de agua', que, en nuestros días, conlleva proveer a las localidades urbanas y rurales de un volumen suficiente de agua, con una calidad requerida y a una presión adecuada.

Un sistema moderno de abastecimiento de agua se compone de instalaciones para la captación, almacenamiento, conducción, bombeo, tratamiento y distribución. Las obras de captación y almacenamiento permiten reunir las aguas aprovechables de ríos, manantiales y depósitos subterráneos; incluyen actividades como el desarrollo y cuidado de la cuenca de aportación, pozos y manantiales, así como la construcción de presas y de galerías filtrantes. La conducción incluye canales y acueductos, así como instalaciones complementarias de bombeo para transportar el agua desde la fuente hasta el centro de distribución. El tratamiento es la serie de procesos que le dan al agua la calidad requerida. Finalmente, la distribución es dotar de agua al usuario, para su consumo.



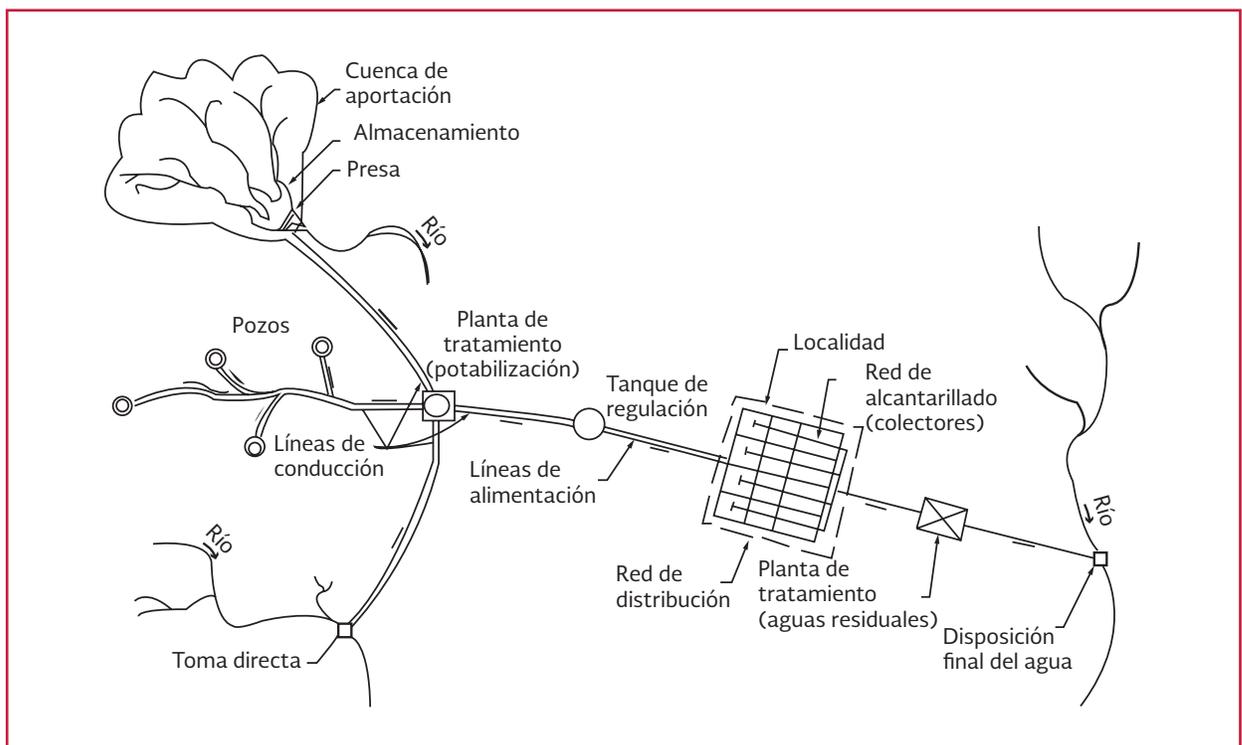
1

RED DE DISTRIBUCIÓN

Una red de distribución (que en lo sucesivo se denominará red) es el conjunto de tubos, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta la toma domiciliaria o hidrantes públicos. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias como extinguir incendios.

La red debe proporcionar este servicio todo el tiempo, en cantidad suficiente, con la calidad requerida y a una presión adecuada. Los límites de calidad del agua para que sea considerada como potable se establecen en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1 vigente. En la Ilustración 1.1 se muestra la configuración típica de un sistema de abastecimiento de agua en localidades urbanas.

Ilustración 1.1 Configuración típica de un sistema de abastecimiento de agua en localidades urbanas



Es importante mencionar que una vez empleada el agua, esta debe ser desalojada mediante una red de alcantarillado y conducida a una planta de tratamiento, para posteriormente ser reutilizada o reintegrada a la naturaleza sin causar deterioro ambiental.

Este documento tiene como objetivo presentar los conceptos básicos de redes de distribución de agua, así como la metodología y recomendaciones para su diseño. Las obras restantes (captación, conducción, etc.) se tratan con mayor detalle en los libros correspondientes a dichos temas.

1.1. COMPONENTES DE UNA RED

Una red de distribución de agua potable se compone generalmente de:

- a) Tubería. Se le llama así al conjunto formado por los tubos (conductos de sección circular) y su sistema de unión o ensamble. Para fines de análisis se denomina tubería al conducto comprendido entre dos secciones transversales del mismo. La red de distribución está formada por un conjunto de tubos que se unen en diversos puntos denominados nodos o uniones. De acuerdo con su función, la red de distribución puede dividirse en red primaria y red secundaria. A la tubería que conduce el agua desde el tanque de regulación hasta el punto donde inicia su distribución se le conoce como línea de alimentación y se considera parte de la red primaria. La división de la red de distribución en red primaria o secundaria dependerá del tamaño de la red y de los diámetros de las tuberías. La red primaria está cons-

tituida por los tubos de mayor diámetro; la secundaria, por la tubería de menor diámetro, la cual abarca la mayoría de las calles de la localidad. Así, una red primaria puede ser una sola tubería de alimentación o cierto conjunto de tubos de mayor diámetro que abarcan a toda la localidad

- b) Piezas especiales. Son todos aquellos accesorios que se emplean para llevar a cabo ramificaciones, intersecciones, cambios de dirección, modificaciones de diámetro, uniones de tubería de diferente material o diámetro y terminales de los conductos, entre otros. Se les llama cruceros a las piezas o conjuntos de accesorios especiales que, conectados a la tubería, forman deflexiones pronunciadas, cambios de diámetro, derivaciones y ramificaciones. También permiten el control del flujo cuando se colocan válvulas.
- c) Válvulas. Son accesorios que se utilizan para disminuir o evitar el flujo en la tubería. Pueden ser clasificadas de acuerdo con su función en dos categorías:
 - Aislamiento o seccionamiento. Son utilizadas para separar o cortar el flujo del resto del sistema de abastecimiento en ciertos tramos de tubería, bombas y dispositivos de control con el fin de revisarlos o repararlos.
 - Control. Usadas para regular el gasto o la presión, facilitar la entrada de aire o la salida de sedimentos o aire atrapados en el sistema.
- d) Hidrantes. Se le llama así a una toma o conexión especial instalada en ciertos puntos de la red, con el propósito de abastecer de agua a varias familias (hidrante público) o conectar una man-

guera o una bomba destinados a proveer agua para combatir el fuego (hidrante contra incendio)

Los hidrantes públicos son tomas compuestas usualmente por un pedestal y una o varias llaves comunes, que se ubican a cierta distancia en las calles para dar servicio a varias familias. El agua obtenida del hidrante público es llevada a las casas en contenedores tales como cubetas u otros recipientes. Se utilizan en poblaciones pequeñas en los casos donde las condiciones económicas no permiten que el servicio de agua potable se instale hasta los predios de los usuarios

- e) Tanques de distribución. Es un depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución que tiene por objeto almacenar el agua proveniente de la fuente. El almacenamiento permite regular la distribución o simplemente prever fallas en el suministro, aunque algunos tanques suelen realizar ambas funciones

Se le llama tanque de regulación cuando guarda cierto volumen adicional de agua para aquellas horas del día en las cuales la demanda en la red sobrepasa el volumen suministrado por la fuente. La mayor parte de los tanques existentes son de este tipo.

Algunos tanques disponen de un volumen de almacenamiento para emergencias, como en el caso de falla de la fuente. Este caso es usualmente previsto por el usuario, quien dispone de cisternas o tinacos, por lo cual en las redes normalmente se utilizan tanques de regulación únicamente

Una red de distribución puede ser alimentada por varios tanques correspondientes al mismo número de fuentes o tener tanques adicionales de regulación

dentro de la misma zona de la red con el fin de abastecer solo a una parte de la red.

- f) Tomas domiciliarias. Es el conjunto de piezas y tubos que permite el abastecimiento desde una tubería de la red de distribución hasta el predio del usuario, así como la instalación de un medidor. Es la parte de la red que demuestra la eficiencia y calidad del sistema de distribución, pues es la que abastece de agua directamente al consumidor

- g) Rebombes. Consisten en instalaciones de bombeo que se ubican generalmente en puntos intermedios de una línea de conducción y excepcionalmente dentro de la red de distribución. Tienen el objetivo de elevar la carga hidráulica en el punto de su ubicación para mantener la circulación del agua en la tubería

Los rebombes se utilizan en la red de distribución cuando se requiere:

- Interconexión entre tanques que abastecen diferentes zonas
- Transferencia de agua de una línea ubicada en partes bajas de la red al tanque de regulación de una zona de servicio en una zona alta
- Incremento de presión en una zona determinada mediante rebombeo directo a la red o *booster*. Esta última opción se debe evitar y considerar solo si las condiciones de la red no permiten la ubicación de un tanque de regulación en la región elevada

- h) Cajas rompedoras de presión. Son depósitos con superficie libre del agua y volumen relativamente pequeño, cuya función es permitir que el flujo de la tubería se descargue en esta, eliminando de esta forma la presión hidrostática y estableciendo un nuevo nivel estático aguas abajo

1.2. TIPOS DE PROYECTOS DE REDES

La mayor parte de las obras que se hacen en las redes de distribución de las ciudades son para mejorar o para ampliar las redes que ya existen; solamente una pequeña proporción son para dar servicio a zonas nuevas o aisladas. Por tanto, se requieren dos tipos de proyectos: de rehabilitación y nuevos.

Los proyectos de rehabilitación se hacen cuando se debe modificar una parte de la red para mejorar su funcionamiento hidráulico, o bien, cuando cambios en el uso del suelo o ampliaciones en la zona de servicio obligan a incrementar la capacidad de la red de distribución. Los proyectos nuevos se requieren cuando se debe dar servicio por primera vez a una zona o cuando es necesario hacer una ampliación a una red existente, la cual, por su magnitud en proyecto, ya no puede catalogarse como una rehabilitación.

1.3. ESQUEMAS BÁSICOS

Los esquemas básicos o configuraciones se refieren a la forma en la que se enlazan o trazan los tubos de la red de distribución para abastecer de agua a la toma domiciliaria. Se tienen tres posibles configuraciones de la red: a) cerrada, b) abierta, c) combinada.

Antes de definir las posibles configuraciones de la red es conveniente definir qué es un circuito. Un circuito es un conjunto de tubos conectados en forma de polígono, donde el agua que parte de un punto puede volver al mismo después de fluir por la tubería que lo compone. Cuando una red es cerrada (o tiene forma de malla), su tubería forma al menos un circuito (varios en el caso de la Ilustración 1.1). La ventaja de diseñar redes cerradas

es que, en caso de falla, el agua puede tomar trayectorias alternas para abastecer una zona de la red. Una desventaja de las mismas es que no es fácil localizar las fugas. La red abierta se compone de tubos que se ramifican sin formar circuitos (forma de árbol). Esta configuración de la red se utiliza cuando la planimetría y la topografía son irregulares y dificultan la formación de circuitos, o cuando el poblado es pequeño o muy disperso. Este tipo de red tiene desventajas debido a que en los extremos muertos pueden formarse crecimientos bacterianos y sedimentación; además, en caso de reparaciones se interrumpe el servicio más allá del punto de reparación, y en caso de ampliaciones, la presión en los extremos es baja.

En algunos casos es necesario emplear ramificaciones en redes cerradas, es decir, se presentan ambas configuraciones; se tiene entonces, una red combinada.

Cabe destacar que la configuración de la red se refiere a la red primaria, que es la que rige el funcionamiento de la red. Pueden darse casos de redes abiertas con tubería secundaria formando circuitos; sin embargo, la red se considera abierta.

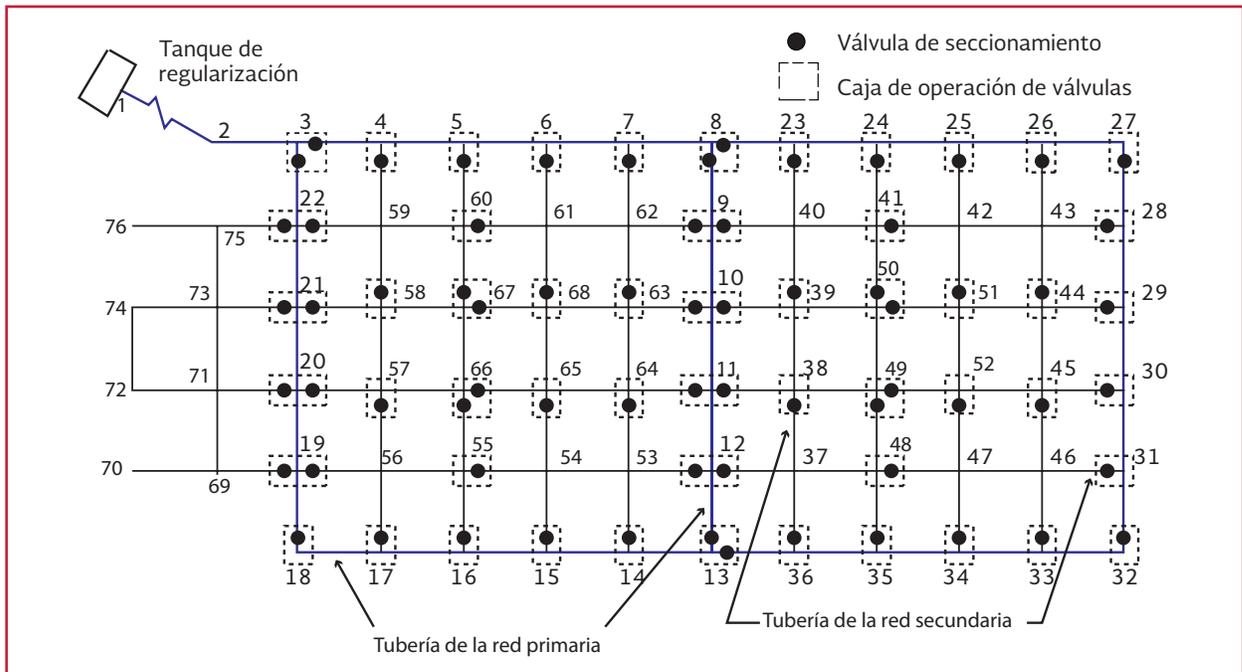
1.4. DIVISIÓN DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN

Una red de distribución se divide en dos partes para determinar su funcionamiento hidráulico: la red primaria, la cual rige el funcionamiento de la red, y la secundaria o 'de relleno'.

La red primaria permite conducir el agua por medio de líneas troncales o principales y alimentar a las redes secundarias.

Se considera que el diámetro mínimo de la tubería correspondiente a la red primaria es

Ilustración 1.2 Red secundaria convencional



Notas:

- Esta red está formada por dos circuitos (red primaria) con un total de 76 cruceros, 69 válvulas de seccionamiento y 54 cajas de operación de válvulas
- En la red secundaria se tienen 60 válvulas de seccionamiento y 48 cajas de operación de válvulas
- Para aislar sectores de operación en el interior de los circuitos, formados por 6, 7 u 8 tramos de calles, se deben cerrar 6 u 8 válvulas. Los tramos cerrados corresponden a 3 o 4 calles diferentes

de 100 mm. Sin embargo, en colonias urbanas populares se puede aceptar de 75 mm y en zonas rurales hasta 50 mm, aunque en grandes urbes se puede aceptar a partir de 500 mm.

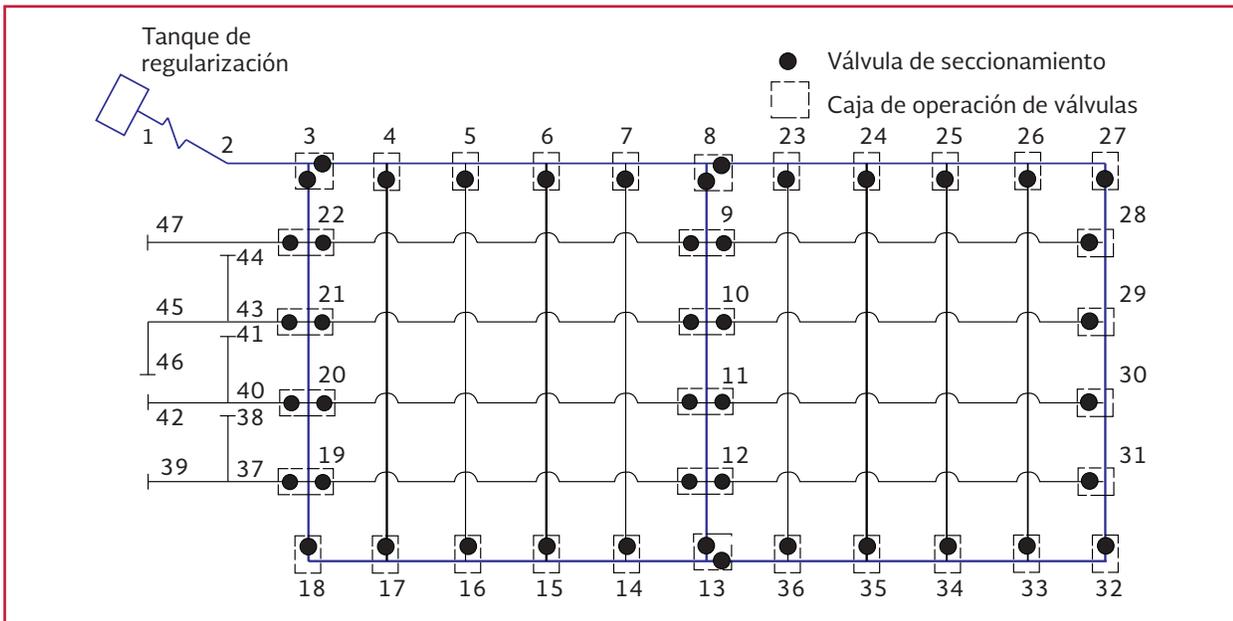
La red secundaria distribuye el agua propiamente hasta la toma domiciliaria. Existen tres tipos de red secundaria:

- Red secundaria convencional. En este tipo de red los conductos se unen a la red primaria y funcionan como una red cerrada. Se suelen tener válvulas tanto en las conexiones con la red primaria como en los cruceros de la secundaria. En la Ilustración 1.2 se muestra este tipo de red, así como algunas de sus características

b) Red secundaria en dos planos. En una red de este tipo la tubería se conecta a la red primaria en dos puntos opuestos, cuando la red está situada en el interior de los circuitos, o bien en un solo cruce de la red primaria en los casos de líneas exteriores a ellos (funcionando como líneas abiertas). Su longitud varía entre 400 y 600 m, en función al tamaño de la zona a la que se le da el servicio. En este tipo de red los tubos que se cruzan no necesariamente se unen tal como se muestra en la Ilustración 1.3

c) Red secundaria en bloques. En este caso la tubería secundaria forma bloques que se conectan con la red primaria solamente en dos puntos y la red principal no recibe co-

Ilustración 1.3 Red secundaria en dos planos



Notas:

- En el interior de los circuitos de la red primaria los tubos se cruzan a desnivel. De esta manera, no se tienen cajas de operación de válvulas en la red secundaria
- Se tienen un total de 47 crucesos, 45 válvulas y 34 cajas de operación de válvulas
- En la red secundaria se han colocado solo 36 válvulas de seccionamiento y 28 cajas de operación.
- Con el cierre de dos válvulas en el interior de los circuitos se aíslan cinco tramos de una sola calle y con el cierre de diversas combinaciones de válvulas se pueden aislar varias calles

nexiones domiciliarias. La longitud total de la tubería secundaria dentro de un bloque normalmente es de 2 000 a 5 000 m. A su vez, la red secundaria dentro de un bloque puede ser convencional (Ilustración 1.4) o en dos planos (Ilustración 1.5)

El tipo de red secundaria comúnmente recomendado es el de bloques y en dos planos dentro del bloque (Ilustración 1.5), debido a que tiene las siguientes ventajas:

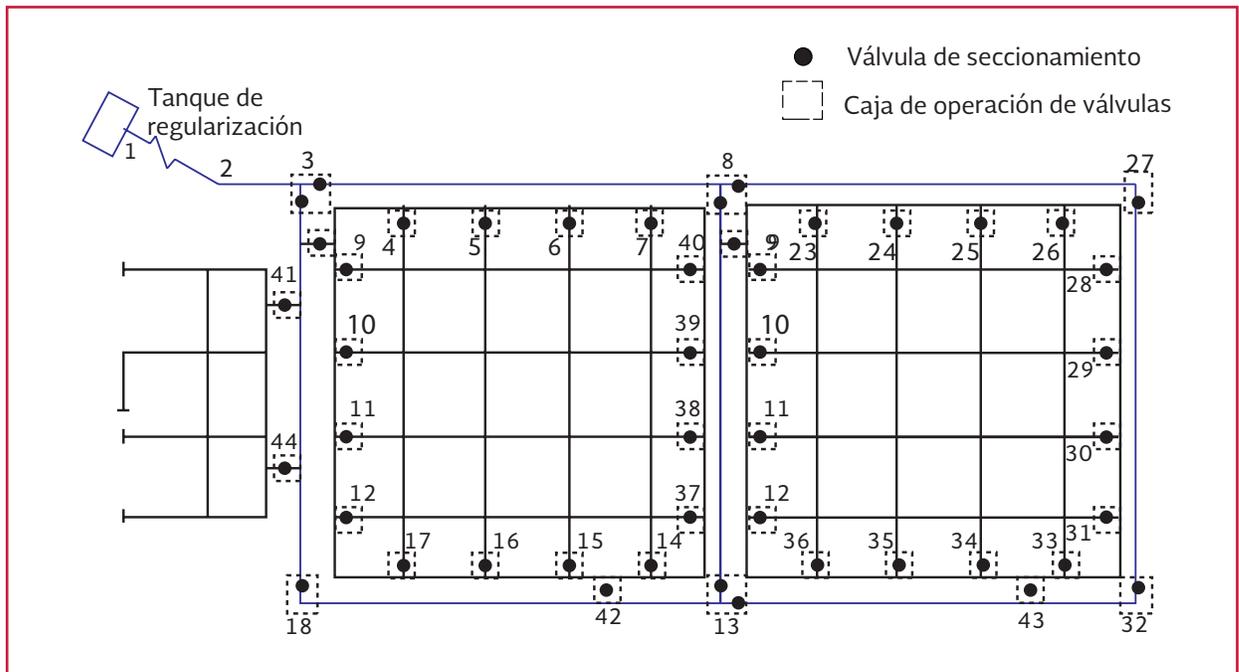
1. De proyecto:

- El cálculo de revisión de la red es más sencillo
- La distribución de las demandas para el cálculo hidráulico de la red prima-

ria se simplifica notablemente debido a que la alimentación de los bloques se realiza de manera concentrada en dos puntos de cada uno de los bloques

- El modelo del cálculo hidráulico es más preciso debido a que no hay consumos en ruta en las tuberías principales
 - Economía de horas-hombre al disminuir el número de crucesos por diseñar, en comparación con una red convencional
2. De construcción:
- La instalación de la tubería secundaria se realiza de forma más rápida, puesto que no se tienen crucesos, ni cajas de operación de válvulas dentro de la red secundaria

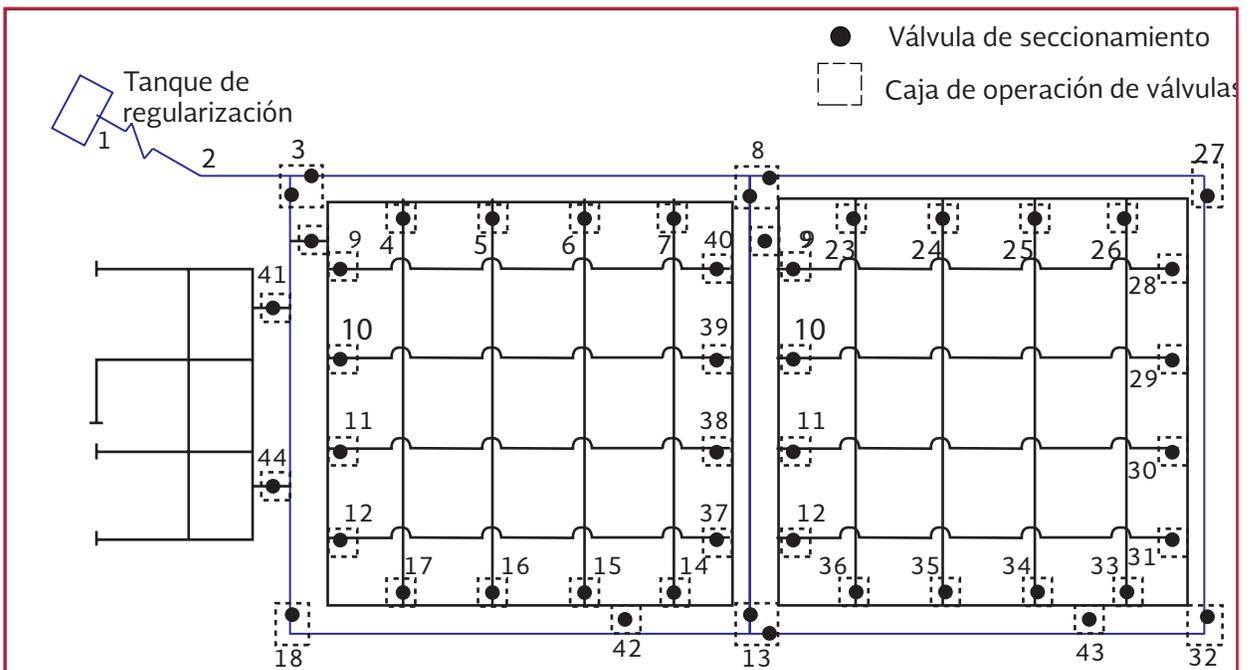
Ilustración 1.4 Red secundaria convencional en bloques



Notas:

- Se tienen en total 98 cruceros, 43 válvulas de seccionamiento y 40 cajas de operación.
- En la red secundaria existen 32 válvulas de seccionamiento correspondientes a 32 cajas de operación de válvulas

Ilustración 1.5 Red secundaria en bloques y en dos planos



- b) Las pruebas de presión hidrostática se facilitan
- 3. De operación, mantenimiento y control de fugas:
 - a) Menor número de válvulas a operar y mantener
 - b) Como cada tubería secundaria se alimenta mediante uno o dos puntos, se facilita notablemente la operación de la red en las labores de corrección de fugas y en la conexión de tomas nuevas
 - c) Un establecimiento natural de zonas de presión
 - d) Facilidades para medir el consumo en la red y ejecutar estudios de fugas no visibles
 - e) Posibilidad de sustituir, reforzar o rehabilitar redes primarias afectando a un menor número de usuarios
- 4. En costos de inversión:
 - a) Economía en el suministro e instalación de piezas especiales debido al menor número de válvulas de seccionamiento
 - b) El número de cajas de operación disminuye y se logra mayor economía por este concepto

1.5. FORMAS DE DISTRIBUCIÓN

El agua se distribuye a los usuarios en función de las condiciones locales de varias maneras:

- a) Por gravedad

El agua de la fuente se conduce o bombea hasta un tanque elevado desde el cual fluye por gravedad hacia la población. De esta forma se mantiene una presión suficiente y prácticamente constante en la red para el servicio a los usuarios.

Este es el método más confiable y se debe utilizar siempre que se dispone de cotas de terreno suficientemente altas para la ubicación del tanque, para asegurar así las presiones requeridas en la red (Ilustración 1.6)

La tubería que abastece de agua al tanque (línea de conducción) se diseña para el gasto máximo diario Q_{md} y la tubería que inicia del tanque hacia el poblado (línea de alimentación) para el gasto máximo horario Q_{mh} en el día de máxima demanda

- b) Por bombeo

El bombeo puede ser de dos formas:

- a. Bombeo directo a la red, sin almacenamiento

Las bombas abastecen directamente a la red y la línea de alimentación se diseña para el gasto máximo horario Q_{mh} en el día de máxima demanda. Este es el sistema menos deseable, puesto que una falla en el suministro eléctrico significa una interrupción completa del servicio de agua

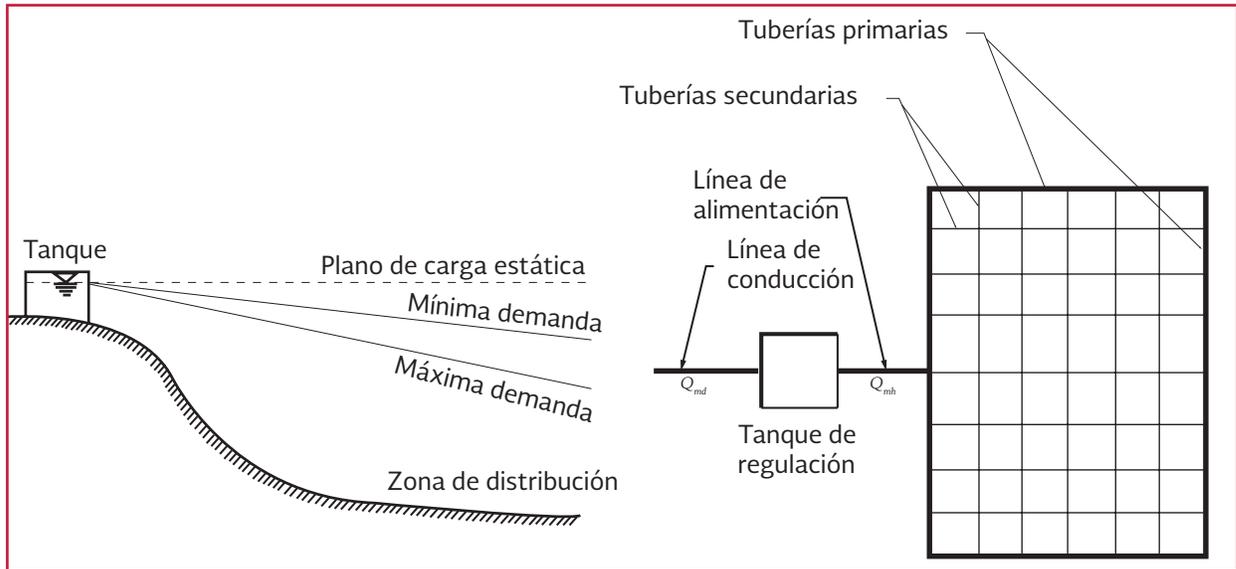
Al variar el consumo en la red, la presión en la misma cambia también. Así, al considerar esta variación, se requieren varias bombas para proporcionar el agua cuando sea necesario

Las variaciones de la presión suministrada por las bombas se transmiten directamente a la red, lo que puede aumentar el gasto perdido por las fugas.

- b. Bombeo directo a la red, con excepciones a tanques de regulación

En esta forma de distribución, el tanque se ubica después de la red en un punto opuesto a la entrada del agua por bombeo y la tubería principal se

Ilustración 1.6 Distribución por gravedad (recomendable)



conecta directamente con la tubería que une las bombas con el tanque. El exceso de agua bombeada a la red durante periodos de bajo consumo se almacena en el tanque y durante periodos de alto consumo, el agua del tanque se envía hacia la red, para complementar la distribuida por bombeo

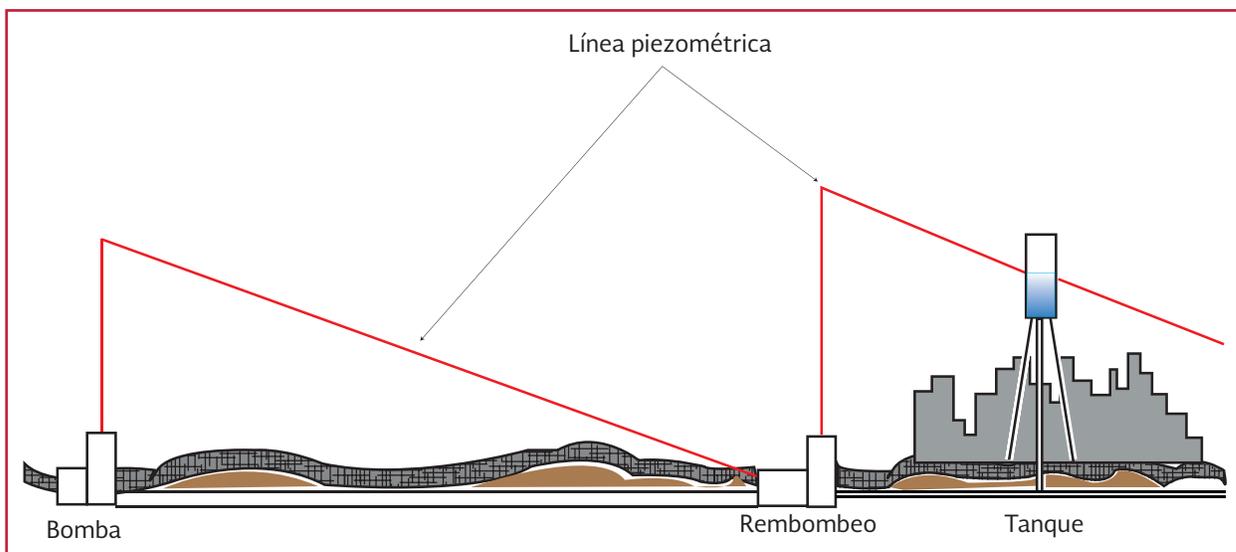
La experiencia de operación en México ha mostrado que esta forma de

distribución no es adecuada. En general, la distribución por bombeo se debe evitar en los proyectos y solo podrá utilizarse en casos excepcionales, donde se pueda justificar

c. Distribución mixta

En este caso, parte del consumo de la red se suministra por bombeo con excedencias a un tanque, del cual a su vez se abastece el resto de la red por gravedad (Ilustración 1.7). Con-

Ilustración 1.7 Distribución mixta (no recomendable)



viene ubicar el tanque en el centro de gravedad de la zona de consumo de agua. Esta forma de distribución tampoco se recomienda debido a que una parte de la red se abastece por bombeo directo. Una opción que puede resultar apropiada en poblaciones asentadas en terrenos planos consiste en modificar el esquema mostrado en la Ilustración 1.7, para que el rebombeo alimente

directamente el tanque elevado. La regulación se asegura con un tanque superficial de capacidad suficiente en el sitio de rebombeo, del cual se bombea al tanque elevado que puede ser de volumen pequeño. Para evitar el bombeo directo a la red no se permitirán conexiones o bifurcaciones de la tubería de alimentación que une el rebombeo con el tanque elevado.

2

COMPONENTES DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN

Una red de distribución se compone de tuberías, piezas especiales (agrupadas en cruceros), válvulas de diversos tipos, hidrantes contra incendio y públicos (en pequeñas localidades), tanques de regulación, rebombeos y accesorios complementarios que permiten su operación, así como su mantenimiento. En este capítulo se hace una descripción más profunda de cada uno de los componentes de una red, sus tipos, ventajas y desventajas. Aunque se enlistan las características y datos técnicos más importantes de tuberías y piezas especiales, se recomienda obtenerlos para cada caso directamente del fabricante, de quien se pueden recabar manuales de instalación, transporte, diseño, etc., así como precios y recomendaciones.

2.1. TUBERÍA

Una tubería se compone de dos o más tubos ensamblados mediante un sistema de unión que permite la conducción de un fluido.

En la selección del material de la tubería intervienen características como: resistencia mecánica, durabilidad, resistencia a la corrosión, capacidad de conducción, economía, facilidad de conexión y reparación, y, especialmente, la conservación de la calidad del agua. La resistencia mecánica de la tubería le permite soportar car-

gas externas, como cargas estáticas (relleno de la zanja) y cargas dinámicas (tráfico). Además, le permite soportar cargas internas (presión hidrostática), tanto de operación como transitorios hidráulicos (golpe de ariete), aunque en redes de distribución los transitorios son relativamente pequeños. Influye también la resistencia a daños durante su instalación.

La resistencia de la tubería debe ser mayor que la máxima carga estática que se puede presentar. La carga estática máxima en un punto de la red se calcula restando la cota de la tubería a la cota de la carga estática en dicho punto. En los tramos que se encuentran con desniveles suaves, la carga estática máxima es el mayor valor de los calculados para sus dos extremos. La durabilidad es el grado al cual la tubería provee servicio satisfactorio y económico bajo las condiciones de uso. Implica larga vida útil y hermeticidad, tanto en la tubería como en su sistema de unión.

La resistencia a la corrosión está muy ligada a la durabilidad, pues es la capacidad de resistir suelos y aguas agresivos, los cuales provocan reacciones químicas adversas entre la pared del tubo y su entorno -tanto interno como externo- reduciendo la capacidad de conducción de la tubería, así como la vida útil de la misma. Pueden tomarse ciertas medidas para asegurar la resis-

tencia a la corrosión de la tubería, las cuales son discutidas más adelante.

La capacidad de conducción depende de la lisura interior de la tubería. En hidráulica, la facilidad con que el agua circula por la tubería se determina por medio de un factor o coeficiente de rugosidad. De esta forma, es posible calcular las pérdidas por fricción. El valor del factor de rugosidad depende del material de la tubería, su edad y las condiciones en que se encuentre. Es posible conservar en buen estado las paredes interiores de algunos tipos de tubería recubriéndolas con cemento, asfalto o algún otro revestimiento.

En la economía de la tubería intervienen varios factores. En primer término se encuentran los costos de adquisición, entre los cuales está la disponibilidad inmediata de tubos y piezas especiales, su transporte al lugar de instalación, así como su resistencia durante el manejo y transporte. Aspectos tales como largos tiempos de entrega, dificultad en obtener material adicional y regresar piezas dañadas o defectuosas, incrementan el tiempo y el costo del proyecto.

Otro factor económico de importancia es el costo de instalación. En este se deberá considerar características de la tubería como la longitud, peso, revestimientos, tanto interno como externo, resistencia mecánica, tipo de unión, costo, flexibilidad y facilidad de instalación de los tubos. A lo anterior tendrán que añadirse condiciones anormales de instalación, como topografía accidentada, alto nivel freático, cruces de ríos, carreteras o vías de ferrocarril, así como la cercanía con otros tipos de instalaciones (drenajes, gasoductos, etc). El tipo de unión empleado en la tubería se refiere al sistema de juntas empleado para enlazar los tubos o tramos de tubería. Aunque existe gran variedad de juntas, algunos tipos

son especialmente prácticos y eficientes, dependiendo del material y de los requerimientos de instalación de la tubería. Cabe destacar que las juntas generalmente permiten cierto grado de deflexión (curvatura en el tendido de la tubería), el cual es especificado en los catálogos del fabricante. La tubería empleada es compatible con otros tipos de tubería, es decir, el fabricante provee adaptadores y ciertos tipos de juntas para enlazar tubería de materiales diferentes.

Redes de distribución construidas tendiendo los diferentes tubos que la conforman durante la construcción y posteriormente realizando las conexiones a usuarios conforme se requieren, resulta imprescindible la fácil instalación de conexiones tanto domiciliarias como de mayores diámetros con el fin de expandir la red para servir a industrias, unidades habitacionales, comercios, etc., así como de válvulas y tubos adicionales. Resulta importante que la tubería sea reparable o al menos fácilmente reemplazable.

Finalmente, la tubería deberá mantener la calidad del agua sin añadir sabores, olores, o sustancias químicas al agua transportada. Adicionalmente, el sistema de unión y la tubería deberán evitar la infiltración de sustancias contaminantes que pudieran encontrarse en zonas específicas.

En la fabricación de los tubos se han usado diversos materiales. Actualmente, en México se utilizan con éxito, para abastecimiento de agua potable, los elaborados de: plástico, que puede ser policloruro de vinilo (PVC) o polietileno de alta densidad (PEAD), fibrocemento (FC), antes denominado asbesto-cemento (AC), hierro fundido, concreto presforzado, así como acero. Aunque algunos de estos materiales son más empleados en líneas de conducción, pueden lle-

gar a utilizarse en redes de gran tamaño o en líneas de alimentación.

A continuación, se detallan las características de la tubería y de los sistemas de unión de los diversos materiales, empleados con éxito en nuestro país en abastecimiento de agua potable. La fabricación de tales tubos está regida por normas o especificaciones, así como por el tipo de unión y sistema de medición empleado para su elaboración.

2.1.1. TUBERÍA DE PLÁSTICO

El uso de tubos de plástico en redes de distribución se ha incrementado recientemente. Se fabrican de policloruro de vinilo (PVC) y de polietileno de alta densidad (PEAD).

Los tubos de PVC (serie métrica) se fabrican en color blanco, de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-E-143 vigente, la cual considera el sistema de unión (un solo tipo) y el grado de calidad (también único) y lo denomina espiga-campana; por su resistencia a la presión de trabajo, clasifica los tubos en cinco clases (Tabla 2.1).

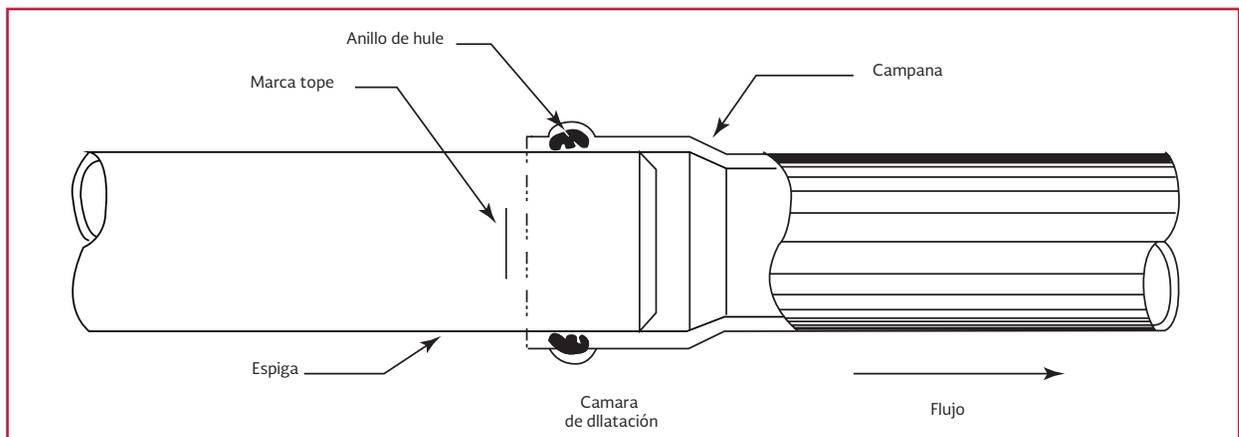
Tabla 2.1 Presión máxima de trabajo en tubería de PVC

Clase	Presión máxima de trabajo	
	MPa	kg/cm ²
5	0.5	5
7	0.7	7
10	1.0	10
14	1.4	14
20	2.0	20

La junta espiga-campana se forma al insertar el extremo liso del tubo en el extremo campana del siguiente tubo (Ilustración 2.1). Para garantizar la unión hermética se coloca un anillo de material elástico. Tiene la ventaja de funcionar como junta de dilatación, y de permitir deflexiones y realizar la prueba hidrostática al terminar su instalación. Este tipo de junta es ampliamente utilizada en la tubería de PVC, concreto y hierro fundido.

La serie métrica de tubos de PVC se fabrica en diámetros nominales de 50 a 630 mm (50, 63, 80, 100, 160, 200, 250, 315, 355, 400, 450, 500 y 630 mm) con longitud útil de seis metros (fabricante y comprador pueden acordar otras longitudes). Las cinco clases existentes se diferencian en el espesor de pared del tubo. Es

Ilustración 2.1 Unión espiga-campana en tubería de PVC



importante señalar que en este tipo de tubería el diámetro nominal es igual al diámetro exterior del tubo.

Las ventajas de los tubos de PVC incluyen:

- Hermeticidad. Por su naturaleza, el PVC impide filtraciones y fugas, lo cual se garantiza si los tubos cuentan con una junta hermética. Se recomienda la unión espiga-campana con anillo de hule integrado porque actúa como junta de dilatación
- Pared interior lisa. Presenta bajas pérdidas por fricción, por lo cual tiene alta eficiencia en la conducción de fluidos
- Resistencia a la corrosión. El PVC es inmune a la corrosión química o electroquímica, por lo que no requiere recubrimientos, forros ni protección catódica. No se forman incrustaciones ni tuberculizaciones (formaciones de óxido)
- Resistencia química. El PVC es altamente resistente al ataque químico de suelos agresivos, de aguas conducidas, y en general de ácidos, álcalis y soluciones salinas. Algunos hidrocarburos afectan temporalmente sus propiedades, pero se restablecen cuando se evaporan los hidrocarburos. Además, resiste el ataque de algas, hongos y bacterias por no existir en el PVC materia nutriente para su desarrollo
- Ligereza. Es sencillo de transportar, manejar y colocar
- Flexibilidad. Permite cierta deflexión durante su instalación
- Resistencia a la tensión. Mejor comportamiento frente a movimientos sísmicos, cargas externas muertas y vivas,

así como ante sobrepresiones momentáneas (golpe de ariete)

- Facilidad de instalación. Puede manejarse y cortarse en obra
- No altera la calidad del agua

Entre sus desventajas se tienen:

- Susceptibilidad a daños durante su manejo. Su resistencia puede ser afectada por raspaduras, la caída de rocas durante la excavación o relleno de la zanja. Es recomendable que el tubo sea reparado o reemplazado si la raspadura es mayor al 10 por ciento del espesor del tubo
- A temperaturas menores a 0 °C, el PVC reduce su resistencia al impacto
- A temperaturas mayores a 25 °C, se debe reducir la presión de trabajo
- La exposición prolongada a los rayos solares reduce su resistencia mecánica

Los tubos de polietileno (PE), serie métrica, se fabrican de acuerdo con las especificaciones contenidas en la Norma Mexicana NMX-E-144 vigente, en color negro, cilíndricos y sin costura. Pueden utilizarse en la conducción de agua potable, agua para riego y residuos industriales, a presiones y temperaturas variables.

Se clasifican de acuerdo con la densidad de la materia prima en tres tipos:

- Tipo I. Tubos de polietileno de baja densidad (PEBD) (0.91 a 0.925 g/cm³) con un esfuerzo de diseño de 2.45 MPa (25 kg/cm²)
- Tipo II. Tubos de polietileno de media densidad (PEMD) (0.926 a 0.940 g/cm³) con un esfuerzo de diseño de 3.13 MPa (32 kg/cm²)

- Tipo III. Tubos de polietileno de alta densidad (PEAD) (mayor o igual a 0.941 g/cm^3) con un esfuerzo de diseño de 4.90 MPa (50 kg/cm^2) y por su presión máxima de trabajo en cinco clases (tabla 2.2)

Tabla 2.2 Presión máxima de trabajo en tubería de PEAD

Clase	Presión máxima de trabajo	
	MPa	kg/cm ²
2.5	0.25	2.5
4	0.39	4
6	0.59	6
8	0.78	8
10	0.98	10

El diámetro nominal de los tubos de polietileno es el diámetro exterior, que puede ser desde 12 mm hasta 1 000 mm (12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 75, 90, 110, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 560, 630, 710, 900 y 1 000 mm). Los espesores de pared del tubo varían en función del tipo (densidad) y la clase (resistencia) del tubo. Los tubos de polietileno se surten en rollos para diámetros hasta de 75 mm y en tramos para diámetros mayores. La longitud útil de rollos o tramos se establece de común acuerdo entre fabricante y comprador.

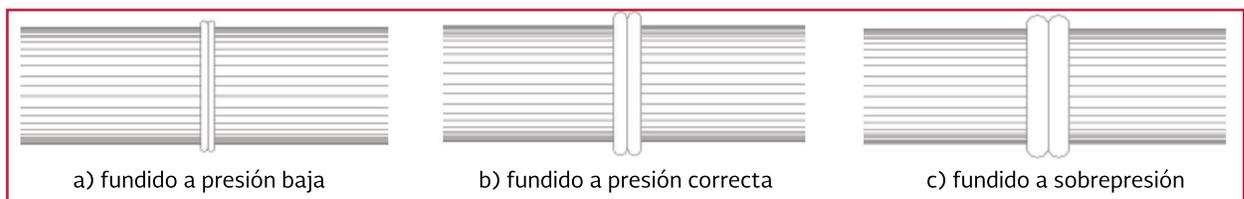
De los tres tipos disponibles de tubos de polietileno, se recomienda emplear polietileno de alta densidad (PEAD) en la construcción de redes de distribución de agua potable.

Los tubos de polietileno cuentan con las mismas ventajas que el PVC: hermeticidad,

alta capacidad de conducción, inmunidad a la corrosión, resistencia química, ligereza, flexibilidad, facilidad de instalación y no alteran la calidad del agua. Además tiene otras ventajas como son:

- Termofusión. Las uniones se logran aplicando calor, uniendo las piezas con herramientas específicas y fáciles de utilizar (Ilustración 2.2). Este procedimiento se detalla en los manuales e instructivos del fabricante. De esta forma no se requieren piezas especiales de hierro fundido, ya que en su lugar se utilizan conexiones especiales de polietileno unidas por termofusión
- Economía. Las excavaciones en zanjas son más reducidas en comparación con otros tipos de tubería, por lo cual se tienen menores costos en zanjados y rellenos. Debido a la integración de la tubería y sus conexiones, así como a la sujeción brindada por los adaptadores bridados, pueden eliminarse los atraques
- Compresibilidad. Para diámetros hasta de 100 mm no se requieren válvulas de seccionamiento, ya que con este tipo de tubería se construye la caja de operación de válvulas (más reducida), pero no se colocan válvulas. En su lugar se utiliza una prensa portátil que al ejercer presión en la tubería corta el flujo. Para diámetros mayores a 100 mm se emplean válvulas, conectadas a la tube-

Ilustración 2.2 Unión por termo fusión



ría mediante un adaptador bridado de polietileno

- Rapidez de instalación. Por su presentación en rollos (diámetros menores a 75 mm), requiere solo una unión en tramos largos, con lo cual se agiliza su instalación
- Compatibilidad. Existen adaptadores especiales para cada tipo de unión (brida, rosca interna o externa, soldadura o compresión) y materiales a los que se une (PVC, cobre, FC o acero)
- Durabilidad. Con mantenimiento nulo, tiene una vida útil de 50 años y 15 años de resistencia a la intemperie

Entre sus desventajas se tienen:

- Mayor costo que las tuberías de otros materiales

2.1.2. TUBERÍA DE FIBROCEMENTO

Las tuberías de fibrocemento (FC) se fabrican con cemento, fibras de asbesto y sílice. Según las especificaciones señaladas en la Norma Mexicana NMX-C-012 vigente. De esta forma, se dispone de tubos de cuatro o cinco metros de longitud útil y coples de fibrocemento como sistema de unión, ambos en diámetros nominales desde 75 hasta 2 000 mm (75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 750, 900, 1 000, 1 050, 1 100, 1 200, 1 300, 1 400, 1 500, 1 600, 1700, 1800, 1 900 y 2 000 mm). En este caso los diámetros nominales de los tubos corresponden al diámetro interior.

Los coples pueden describirse como un tubo muy corto con ambos extremos en disposición semejante a una unión campana (Ilustración

2.3). Los tubos son entonces de extremos espi-ga. Este tipo de unión es empleado comúnmen-te en la tubería de fibrocemento, aunque en la unión con piezas especiales de hierro fundido se utilizan juntas Gibault (Ilustración 2.4) y otros tipos de juntas mecánicas que permiten unir tu-bería de extremos lisos.

Los tubos de fibrocemento se clasifican en cin-co clases, dependiendo de la presión de trabajo (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Presión interna de trabajo de las tuberías de FC

Clase	Presión interna de trabajo	
	MPa	kg/cm ²
A - 5	0.5	5
A - 7	0.7	7
A - 10	1.0	10
A - 14	1.4	14
A - 20	2.0	20

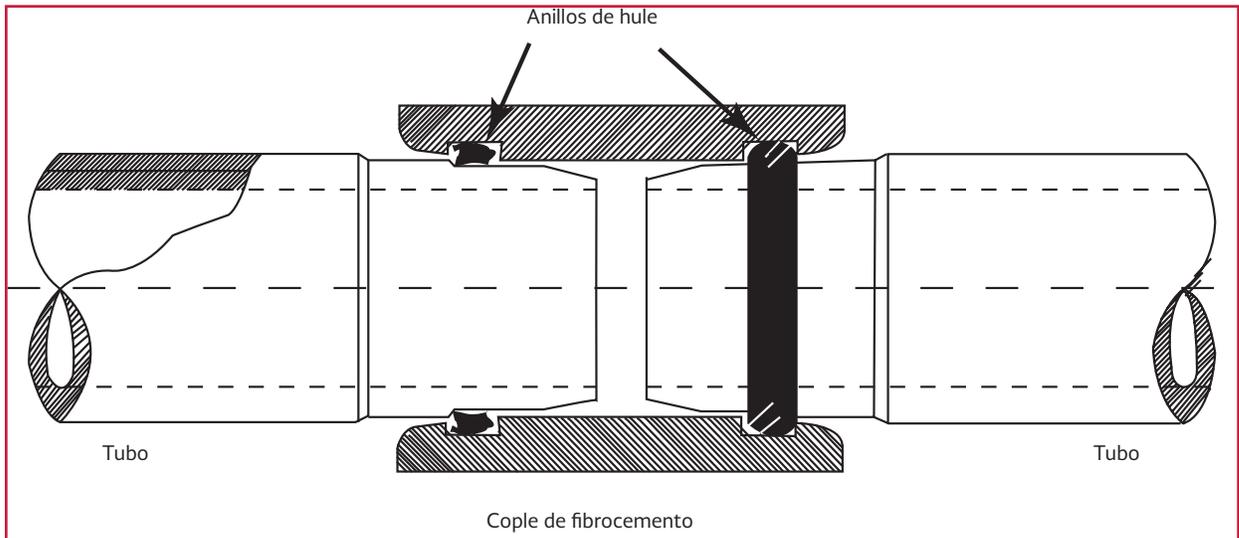
Se pueden fabricar tubos y coples de fibroce-mento en clases intermedias a las básicas, lo cual debe especificarse al hacer el contrato entre fabricante y comprador.

Adicionalmente, los tubos de fibrocemento se clasifican en dos tipos de acuerdo a su alcalinidad:

- Tipo I. Tubos con contenidos de hidróxido de calcio mayores al 1.0 por ciento
- Tipo II. Tubos con contenidos de hidróxido de calcio menores al 1.0 por ciento

La selección de la tubería de fibrocemento, de acuerdo a su tipo, dependerá de la agresividad del agua (interna y externa a la tubería), así como de la presencia de sulfatos. Los tubos tipo II son más resistentes a la agresividad del agua y a los sulfatos.

Ilustración 2.3 Unión por medio de coples de fibrocemento



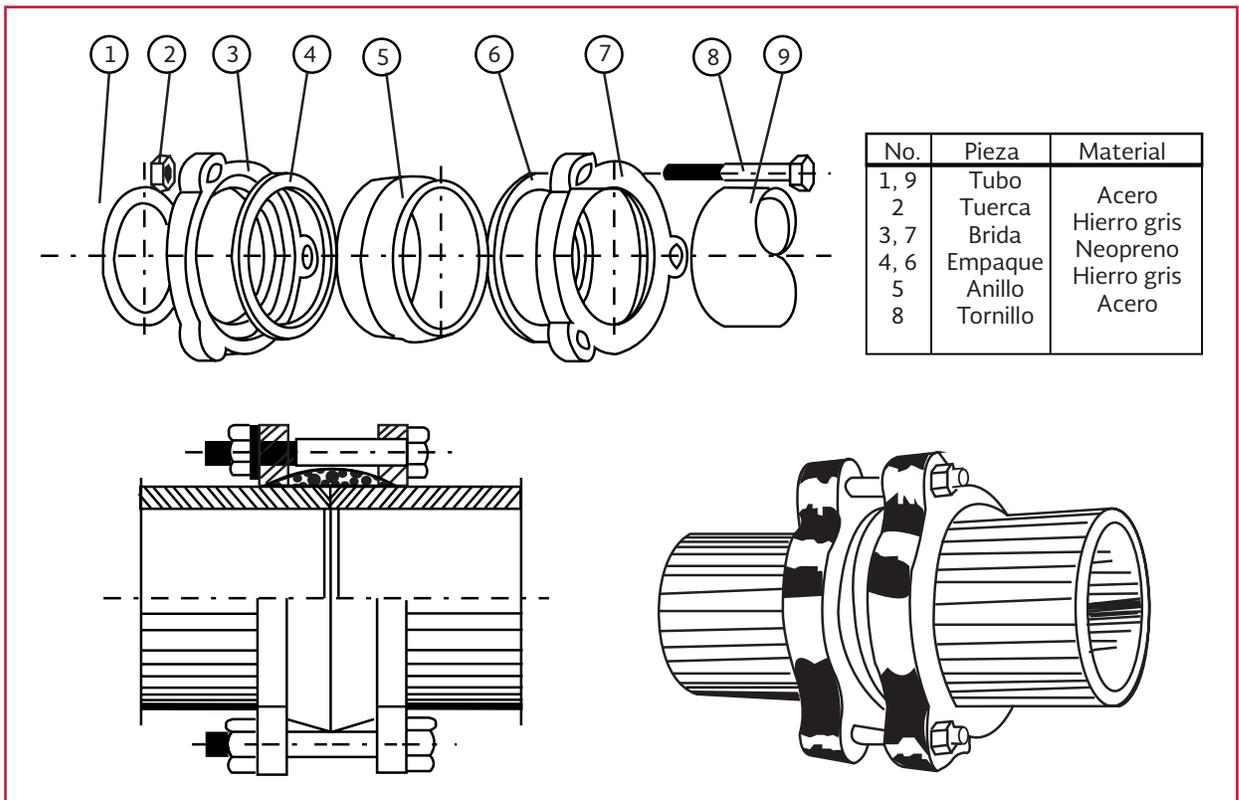
Entre las ventajas de los tubos de fibrocemento se encuentran:

- Ligereza
- Generalmente no se corroe
- Inmunidad a la corrosión electroquímica y a la tuberculización

Y entre sus desventajas:

- Fragilidad. Se requieren cuidados adicionales durante el transporte e instalación de tubería, así como durante la etapa de conexiones domiciliarias

Ilustración 2.4 Junta Gibault



- Número de coples. A menor longitud de tubo se requiere mayor número de coples
- En caso de requerir el perforado o cortado en obra, se recomienda el uso de mascarillas protectoras para evitar la inhalación del polvo

2.1.3. TUBERÍA DE HIERRO FUNDIDO

El hierro fundido (HF) o colado ha sido empleado para fabricar tubería, piezas especiales y válvulas. En México, debido a los menores costos de otros tipos de tubería, los tubos de hierro fundido han sido desplazados en la construcción de redes de distribución. Sin embargo, aún se utilizan en estaciones de bombeo e instalaciones donde se requiere rigidez y resistencia al impacto y a la corrosión. El hierro fundido se emplea aún en la fabricación de piezas especiales y válvulas, las cuales pueden ser usadas en tubería de diversos materiales.

Se dispone de dos tipos de hierro fundido: el hierro gris y el hierro dúctil. El hierro dúctil es una mejora al hierro gris, en la cual mediante un tratamiento especial se logra un metal de mayor dureza y resistencia. Para mejorar aún más su resistencia a la corrosión se le aplican diversos revestimientos; en el interior se le aplica usualmente mortero de cemento, lo cual evita la tuberculización (formaciones de óxido) y en el exterior una capa asfáltica. Aunque todavía se fabrican piezas especiales de hierro gris, están siendo desplazadas por el hierro dúctil.

Los tubos de hierro dúctil pueden ser unidos con varios tipos de juntas: bridas, mecánica, enchufe-bola o submarina, y espiga-campana con anillo de hule. Las juntas bridadas (Ilustración 2.5a y b)

poseen dos anillos idénticos hechos del material de la tubería (bridas) y perforados para fijarse entre sí por medio de tornillos. Cada uno se fija en los extremos de los tubos por unir, a través de algún método como el soldado o el roscado. Para mantener la hermeticidad de la junta se coloca un anillo de sellado entre ambas bridas.

Las juntas bridadas son prácticas y sencillas de instalar, no requieren herramientas especiales. Se utilizan en tubería de hierro fundido y de acero. Así mismo, existen adaptadores de este tipo de unión en tubería plástica.

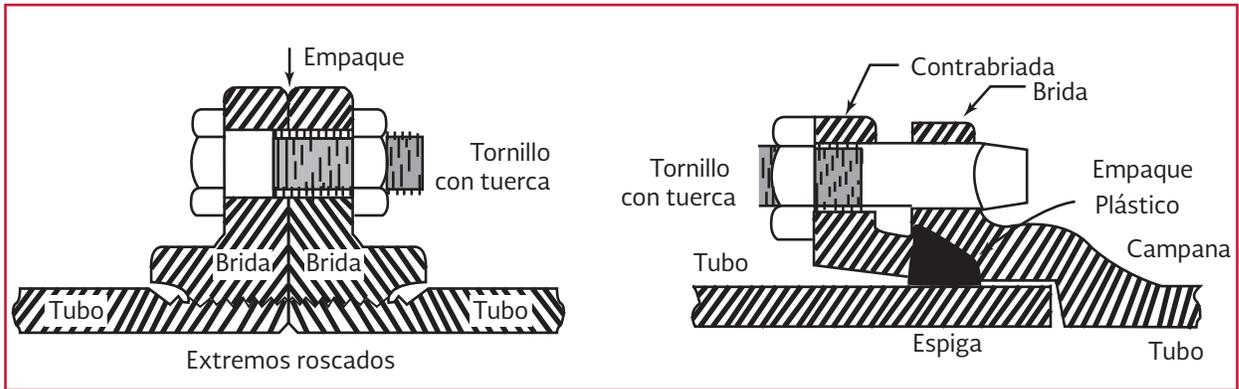
La junta bridada es ampliamente utilizada en sistemas de tubería expuestos (plantas de tratamiento e instalaciones de bombeo, así como instalaciones industriales) donde se requiere rigidez, resistencia, facilidad de intercambio de tubos, así como la impermeabilidad de la junta.

No se recomienda en tubos enterrados donde la rigidez de la junta provoca que se acumulen esfuerzos en los tubos y provocan su ruptura. Tales esfuerzos pueden ser producidos por cargas estáticas o dinámicas, así como por movimientos sísmicos o asentamientos del terreno.

Las juntas mecánicas (Ilustración 2.5) consisten en unir un tubo con un extremo bridado (brida fija) y en disposición campana con otro tubo espiga o liso, empleando una contrabrida (brida móvil) y un anillo de sellado.

Cuando se requiere que la tubería soporte fuertes deflexiones, como en el tendido de tubería en el cruce de un río, donde se permite que la tubería se deposite en el fondo ajustándose a la sección transversal del río, se utilizan las juntas enchufe-bola o submarinas (Ilustración 2.6a).

Ilustración 2.5 Unión bridada y unión mecánica



Por último, más comúnmente se utilizan las uniones espiga-campana (Ilustración 2.6b) ya descritas anteriormente.

Entre las ventajas del hierro dúctil se tienen:

- Larga vida útil. En Europa se tiene tubería de hierro gris con más de doscientos años de uso, aunque en general puede considerarse una vida útil de 100 años
- Alta resistencia mecánica. Posee alta resistencia a impactos y a cargas normales y extraordinarias, así como a la presión interna
- Alta resistencia a la corrosión, aunque es susceptible a la tuberculización, lo cual puede evitarse con recubrimientos especiales
- Es prácticamente libre de mantenimiento
- El hierro dúctil puede ser soldado en forma

económica, lo cual no sucede con el hierro gris

Y entre sus desventajas:

- Puede sufrir corrosión eléctrica o química si no se protege de suelos ácidos o alcalinos y de aguas agresivas
- Peso relativamente alto, lo cual dificulta su manejo
- Los tubos de hierro fundido no se fabrican en México, por lo cual deben importarse

2.1.4. TUBERÍA DE CONCRETO

La tubería de concreto es más utilizada en líneas de conducción que en redes de distribución, pero pueden ser utilizadas en la tubería princi-

Ilustración 2.6 Uniones para hierro dúctil

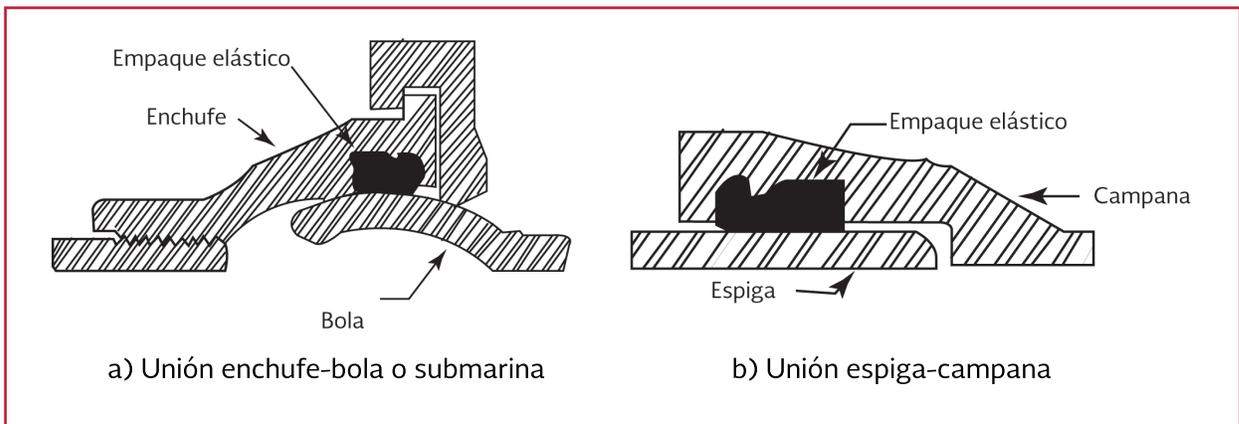
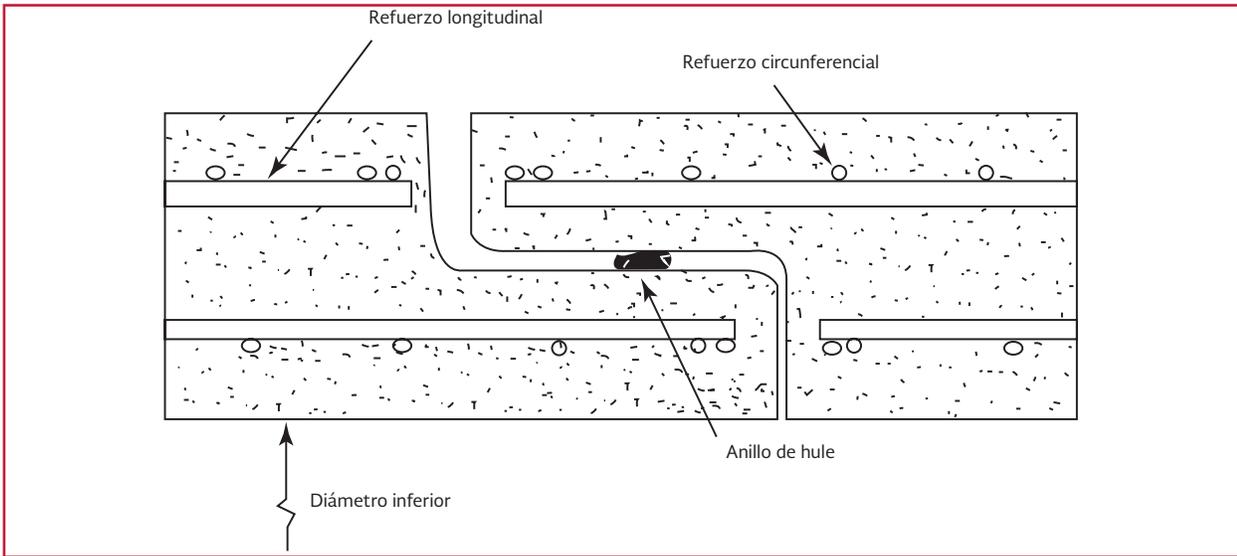


Ilustración 2.7 Unión espiga-campana en tubería de concreto sin cilindro de acero



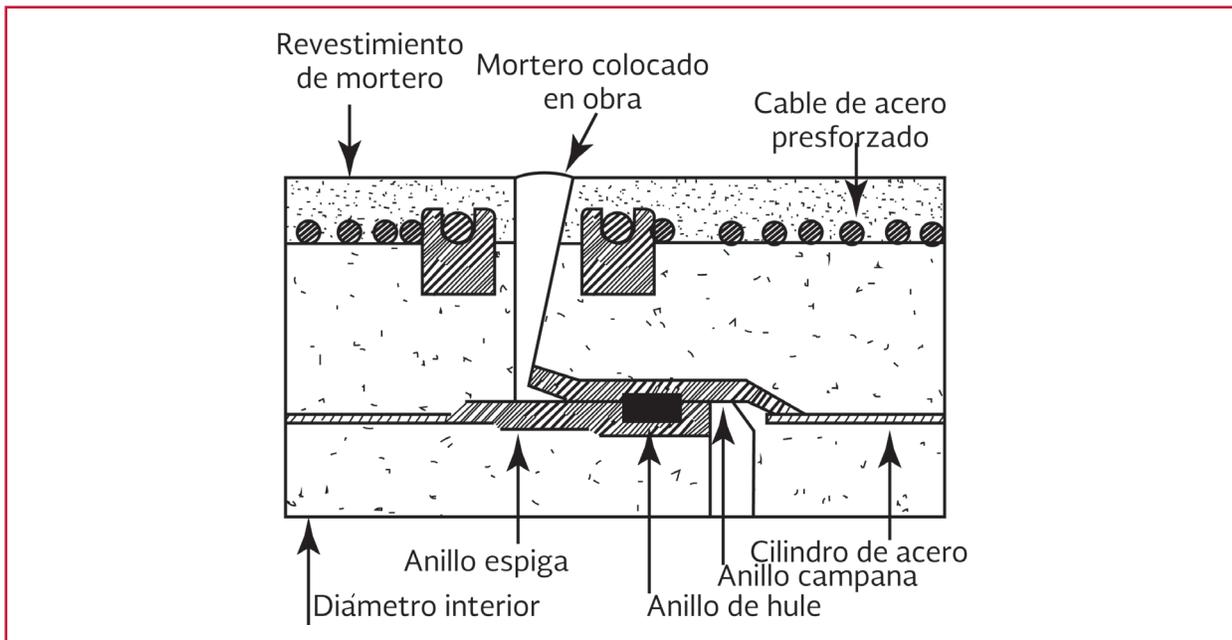
pal de la red primaria en el caso de redes de gran tamaño. La tubería de concreto que se utiliza en agua potable es de concreto presforzado (con o sin cilindro de acero).

Los tubos de concreto presforzado sin cilindro de acero se fabrican a partir de un tubo primario o núcleo, el cual puede o no contener acero de pres-

fuerzo longitudinal. Una vez que el concreto ha alcanzado su resistencia a la compresión, se le enrolla el acero de presfuerzo transversal en forma helicoidal y finalmente se le reviste con concreto.

Las juntas utilizadas son espiga-campana con anillo de hule (Ilustración 2.7), autocentrables y con flexibilidad suficiente para mantener su

Ilustración 2.8 Unión espiga-campana en tubería de concreto con cilindro de acero



estanquedad bajo condiciones normales, incluyendo contracción y expansión así como asentamientos diferenciales del suelo.

Las especificaciones de fabricación de este tipo de tubos se encuentran en la Norma Mexicana NMX-C-252-ONNCCE-2011, donde se detalla la calidad de los materiales, la longitud útil de cada tubo (de 4 a 8 m), así como las principales características del tubo una vez terminado. En este caso se denomina diámetro del tubo al diámetro interior del mismo (de 400 a 5 000 mm).

Los tubos de concreto presforzado con cilindro de acero, se diferencian de los anteriores en que su núcleo o corazón (tubo primario) es un cilindro de lámina de acero con anillos soldados a sus extremos (Ilustración 2.8). El cilindro de acero, una vez sometido a una presión de prueba, es ahogado en un cilindro de concreto o se le aloja en el interior del mismo. Así, una vez que el concreto logra su resistencia, se le somete al presfuerzo transversal y se le aplica el revestimiento de mortero o concreto. Las especificaciones se concentran en la Norma Mexicana NMX-C-253-ONNCCE-2011.

Aunque en ambas Normas no se detallan las dimensiones específicas de la tubería, se encontró a partir de los catálogos de algunos fabricantes, que la tubería de ambos tipos se elaboran con diámetros usuales entre 760 y 2750 mm, con longitud útil entre 4 y 8 metros. También pueden fabricarse en otros tamaños (diámetro-longitud) a petición del cliente (limitados por el peso). La tubería se diseña y fabrica de acuerdo a la presión de trabajo requerida por el cliente, así como por las condiciones del proyecto.

Como ventajas de la tubería de concreto se destacan:

- Alta resistencia mecánica. Resiste especialmente cargas muertas, es decir, el relleno de la zanja, así como altas presiones
- Alta capacidad de conducción
- Larga vida útil
- Bajo mantenimiento

Y como desventajas:

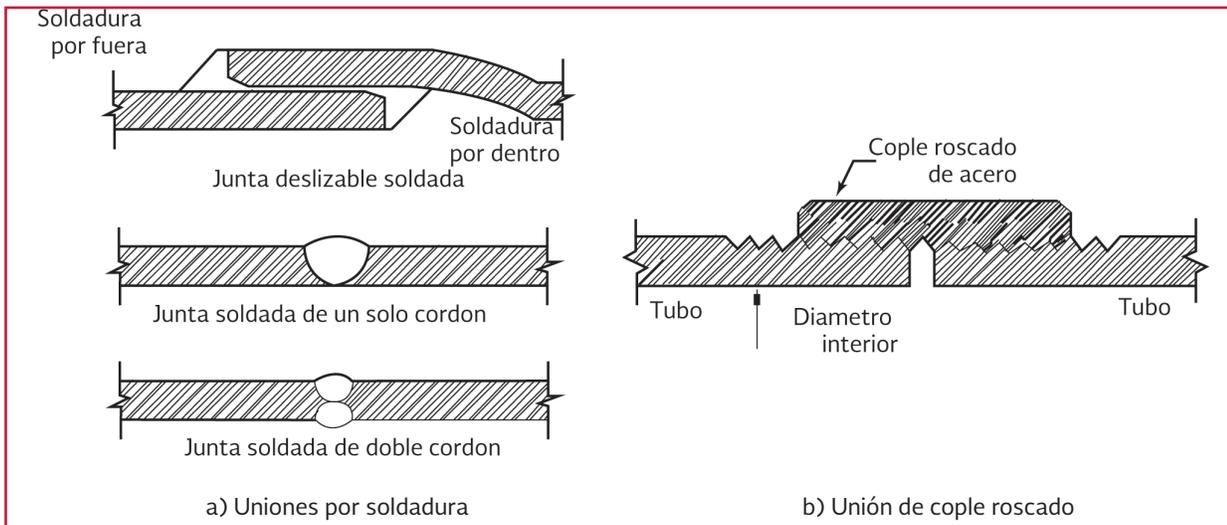
- Posible corrosión cuando se encuentra en condiciones ácidas o alcalinas
- Difícil de reparar en caso de sufrir daños
- Puede resultar complicado realizar conexiones, aunque los fabricantes cuentan con piezas y procedimientos especiales para realizar tales derivaciones

2.1.5. TUBERÍA DE ACERO

En líneas de conducción, al igual que la tubería de concreto, la de acero es utilizada cuando se tienen altas presiones y se requieren grandes diámetros. La diferencia entre su uso es que las tuberías de concreto generalmente son enterradas y las de acero se pueden emplear en instalaciones expuestas, que en caso de ser enterradas son protegidas por un recubrimiento exterior.

En redes de distribución se utilizan tubos de acero de diámetros pequeños, de 50.4 mm (2") hasta 152.4 mm (6"), los cuales son generalmente revestidos con zinc tanto en el interior como en el exterior, en cuyo caso se les denomina galvanizados. Si no poseen tal

Ilustración 2.9 Uniones para tubería de acero



recubrimiento se les llama tubos negros. El uso de tuberías de acero (con excepción de las galvanizadas) obliga a su protección interior y exterior contra la corrosión.

La tubería de acero se fabrica de acuerdo a las Normas Mexicanas NMX-B-10 y NMX-B-177. Ambas Normas se refieren a los tubos de acero con o sin costura (longitudinal o helicoidal), negros o galvanizados por inmersión en caliente para usos comunes (conducción de agua, vapor, gas o aire). Sin embargo, la NMX-B-10 trata tubos de acero al carbono en diámetros de 3.175 mm (1/8") hasta 406.4 mm (16"), y la NMX-B-177 a los tubos de acero en diámetros de 3.175 mm (1/8") hasta 660.4 mm (26").

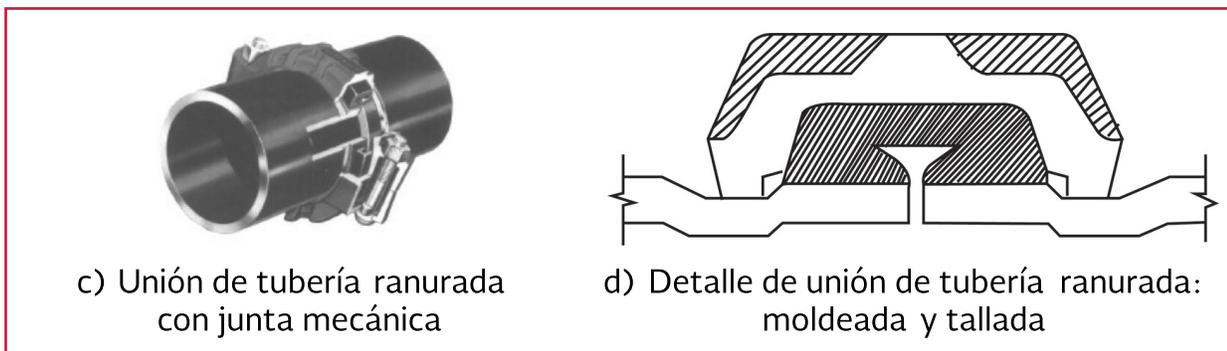
Ambas Normas clasifican a los tubos según su proceso de fabricación en tres tipos:

- *F* Soldado a tope con soldadura continua por calentamiento en horno
- *E* Soldado por resistencia eléctrica
- *S* Sin costura

La norma NMX-B-177 divide a su vez a los tipos *E* y *S*, de acuerdo a las propiedades mecánicas del acero, en grados *A* y *B*. El grado *B* en sus dos tipos *E* y *S* posee mayor resistencia a la tensión y de fluencia.

Existe una Norma adicional, la NMX-B-179 Tubos de acero con o sin costura -series

Ilustración 2.10 Uniones para tubería de acero



dimensionales-, la cual define las dimensiones normales en las cuales pueden fabricarse los tubos. En tal Norma, se clasifican los tubos de acuerdo a su espesor de pared en tres clases denominadas: peso estándar *E*, extrafuerte *XE* y doble extrafuerte *XXE*. También, de acuerdo al espesor, se puede obtener el número de cédula, el cual representa en cierta forma una relación entre el espesor y el diámetro de la tubería. El sistema de unión empleado en las tuberías de acero puede ser: soldadura (Ilustración 2.9a), bridas (Ilustración 2.5a), coples (Ilustración 2.9b) o ranuras (moldeadas o talladas) con junta mecánica (Ilustración 2.10).

Las ventajas de la tubería de acero incluyen:

- Alta resistencia mecánica. Resiste cargas de impacto, es decir, aunque se abolla no se rompe (dúctil). También resiste altas presiones internas
- En comparación con tubería de concreto o de hierro fundido resulta más ligera
- Fácil transporte e instalación

Y como desventajas:

- No soporta cargas externas grandes, es susceptible al aplastamiento. Lo mismo puede suceder en el caso de vacíos parciales (presiones menores a la atmosférica)
- Por ser metálico presenta corrosión. Debido a su diferente composición química, la corrosión es más severa que en el hierro fundido. Esto crea altos costos de mantenimiento y reduce su vida útil, por lo cual se requieren revestimientos internos y externos para prevenirla. Las fracturas en el revestimiento deben ser reparadas rápidamente para prevenir una corrosión acelerada en tales condiciones

2.2. PIEZAS ESPECIALES

Se les llama piezas especiales a todos aquellos accesorios de la tubería que permiten formar cambios de dirección, ramificaciones e intersecciones, así como conexiones incluso entre tubería de diferente material y diámetros. También permiten la inserción de válvulas y la conexión con estaciones de bombeo y otras instalaciones hidráulicas.

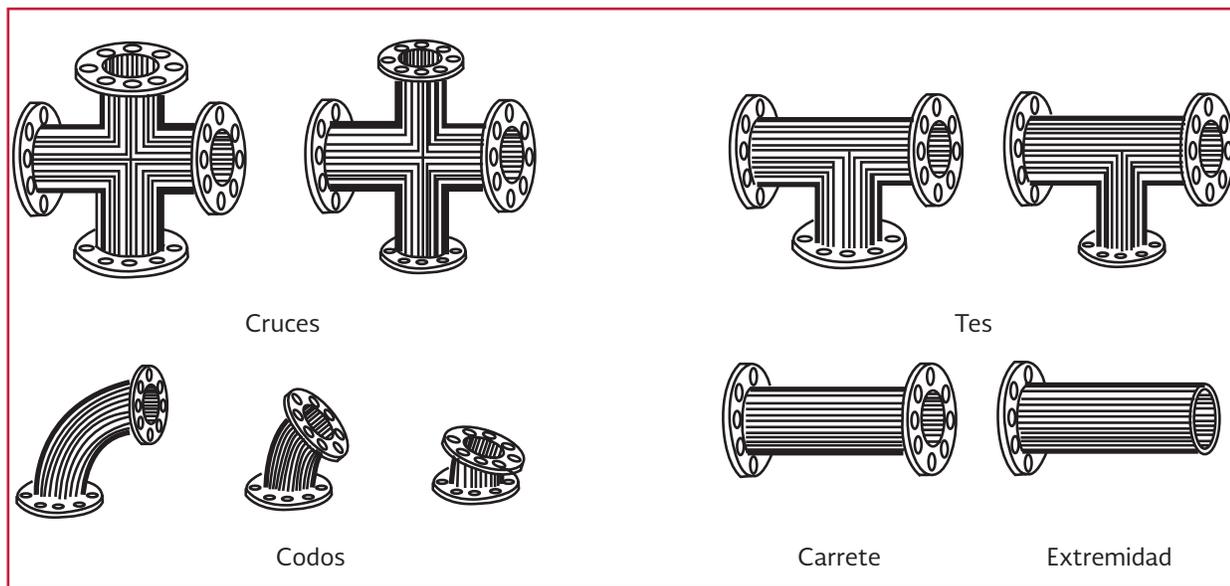
En general, se dispone de piezas especiales fabricadas de: hierro fundido (con bridas, extremos lisos, campana-espiga), fibrocemento, PVC, polietileno, concreto presforzado y acero. También se dispone de accesorios complementarios empleados para formar uniones como: juntas mecánicas (Gibault, universal, etc.), empaques y tornillos de acero con cabeza y tuerca hexagonal estándar.

Las piezas especiales de hierro fundido (Ilustración 2.11) son las más empleadas y se fabrican para todos los diámetros de la tubería. Se conectan entre sí o con válvulas mediante bridas con tornillos y un empaque intermedio, también pueden unirse a tubería de fibrocemento utilizando juntas Gibault.

Incluso se fabrican, bajo pedido, piezas especiales de fibrocemento hasta de 150 mm (6") ya que su resistencia mecánica es baja en diámetros mayores.

Los fabricantes de tubería ofrecen entre sus líneas de productos adaptadores para tubería de otros materiales, otros sistemas de unión o incluso tubos lisos que pueden ser unidos mediante juntas mecánicas. En la Tabla 2.4 se resumen las ventajas y desventajas de los diferentes materiales empleados en la conducción

Ilustración 2.11 Piezas especiales de hierro fundido con extremos bridados



de agua potable, así como los diferentes sistemas de unión usuales y los diámetros nominales más empleados.

2.3. VÁLVULAS

Las válvulas son dispositivos mecánicos que son empleados para detener, iniciar o controlar las características del flujo en conductos a presión. Pueden ser accionadas manualmente o por medios automáticos o semiautomáticos. Así, existen accionadores eléctricos, hidráulicos o neumáticos, los cuales se usan en plantas de tratamiento o en instalaciones donde se requiere operar frecuentemente las válvulas. En redes de distribución son más usuales las válvulas que se operan manualmente mediante palancas, volantes y engranes, debido a que los cierres y aperturas son ocasionales.

Las válvulas permiten el aislamiento de ciertos tramos de tubería para realizar labores de reparación y mantenimiento, simplemente evitar el flujo o cambiarlo de dirección. También permiten el drenar o vaciar una línea, controlar

el gasto, regular los niveles en los tanques de almacenamiento, evitar o disminuir los efectos del golpe de ariete (cambios de presión que pueden colapsar la tubería), la salida o entrada de aire, así como evitar contraflujos, es decir, prevenir el flujo en dirección contraria a la de diseño.

Las válvulas se dividen en dos clases según su función: 1) Aislamiento o seccionamiento y 2) Control. Según su tipo las válvulas de aislamiento pueden ser: de compuerta, de mariposa o de asiento (cilíndrico, cónico o esférico). Las válvulas de asiento pueden realizar ambas funciones. A su vez las válvulas de control pueden ser: de altitud, de admisión y expulsión de aire, controladoras de presión, de globo, de retención (*check*) o de vaciado (de desagüe).

Las válvulas más modernas poseen un excelente diseño hidrodinámico disminuyendo las pérdidas de carga y la cavitación. Tienen como característica un cuerpo básico al cual se le pueden agregar los controles necesarios para controlar y regular el flujo o la presión. Existen además válvulas de admisión y

Tabla 2.4 Ventajas y desventajas de los diferentes materiales empleados en tubería para conducir agua potable

Material y diámetros usuales	Sistema de unión	Piezas Especiales	Ventajas	Desventajas
Policloruro de vinilo (PVC) (50 a 630 mm)	Acoplamiento espiga-campana con anillo de hule	Se fabrican de PVC Pueden usarse piezas de hierro fundido en los cruceros, con adaptadores bridados de PVC	<ul style="list-style-type: none"> Bajo coeficiente de rugosidad Ligereza Instalación rápida, fácil y económica Flexibilidad Alta resistencia a la tensión Alta resistencia a la corrosión y al ataque químico de ácidos, álcalis y soluciones salinas Puede realizarse la prueba hidrostática inmediatamente después de su instalación Mantenimiento nulo 	<ul style="list-style-type: none"> Susceptible a daños durante su manejo Con temperaturas menores a 0°C se reduce su resistencia al impacto Cuando conduce agua a presión con temperatura superior a 25°C, disminuye la presión máxima de trabajo que puede soportar La exposición prolongada a los rayos solares afecta sus propiedades mecánicas
Poliétileno de alta densidad (PEAD) (12 a 1,000 mm)	Termofusión	Se fabrican de polietileno y se unen por termofusión. Pueden acoplarse a piezas especiales de hierro fundido por medio de adaptadores de polietileno	<ul style="list-style-type: none"> Bajo coeficiente de rugosidad Flexibilidad Ligereza Instalación rápida, fácil y económica Se puede instalar en zanjas poco profundas sin plantilla No presenta corrosión. En diámetros menores a 100 mm no se requieren válvulas de seccionamiento Mantenimiento nulo 	<ul style="list-style-type: none"> La presión de trabajo especificada puede alterarse al aumentar la temperatura exterior o interior Se deteriora si se expone a la intemperie por períodos prolongados
Fibrocemento (FC), antes (Asbesto-cemento) (AC) (75 a 2,000 mm)	Coples de fibrocemento con anillos de hule Junta Gibault	Piezas de hierro fundido con bridas que se unen con extremidades bridadas y juntas Gibault a la tubería de fibrocemento Piezas de hierro fundido con extremos lisos que se unen con juntas Gibault Piezas de fibrocemento (en diámetros pequeños)	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo Ligereza Hasta cierto grado es resistente al ataque de ácidos, álcalis, sales y otras sustancias químicas Generalmente no se corroe. No favorece la formación de incrustaciones en las paredes 	<ul style="list-style-type: none"> Frágil; puede agrietarse o romperse durante las maniobras de transporte, manejo, almacenaje e instalación
Hierro fundido (HF) (100 a 1,600 mm)	Acoplamiento espiga-campana con anillo de hule Extremos bridados Junta mecánica Junta Gibault	Se fabrican de hierro fundido con extremos lisos, campana, campana para junta mecánica, y bridados	<ul style="list-style-type: none"> Larga vida útil Alta resistencia a impactos durante el transporte, manejo e instalación Alta resistencia a la corrosión, pero susceptible a la tuberculización Alta resistencia al aplastamiento o fractura por cargas externas Puede ser cortado o perforado en la obra Mantenimiento casi nulo 	<ul style="list-style-type: none"> Susceptible a la corrosión eléctrica o química si no es protegido Alto peso, por lo cual es difícil su manejo Mayor costo que otros tipos de tubería En caso de requerirse, debe importarse, lo cual implica mayor costo
Concreto presforzado (760 a 2,750 mm)	Acoplamiento espiga-campana con anillo de hule Uniones bridadas	Piezas de alma de acero recubierta de concreto, con extremos espiga-campana, extremos lisos o bridadas	<ul style="list-style-type: none"> Alta capacidad de conducción Alta resistencia mecánica a presiones internas y cargas externas Larga vida útil Bajo mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> Pueden ser atacadas por sulfatos si no se usa cemento resistente Difícil de reparar Conexiones complicadas
Acero (50.4 (2") a 355.6 mm (14")), galvanizado (50.4 (2") a 152.4 mm (6"))	Soldadura Extremos bridados Juntas mecánicas para extremos lisos o ranurados	En general, se fabrican de tramos de tubería unidos con soldadura	<ul style="list-style-type: none"> Resiste presiones internas elevadas Mayor ligereza y bajo costo en comparación con tuberías de hierro fundido o de concreto Fácil adaptación a cualquier tipo de montaje 	<ul style="list-style-type: none"> Es susceptible a la corrosión por lo que debe protegerse tanto el interior como el exterior (en el caso de tubería no galvanizadas) No soporta cargas externas ni vacíos parciales, pues es susceptible al aplastamiento Requiere mantenimiento periódico

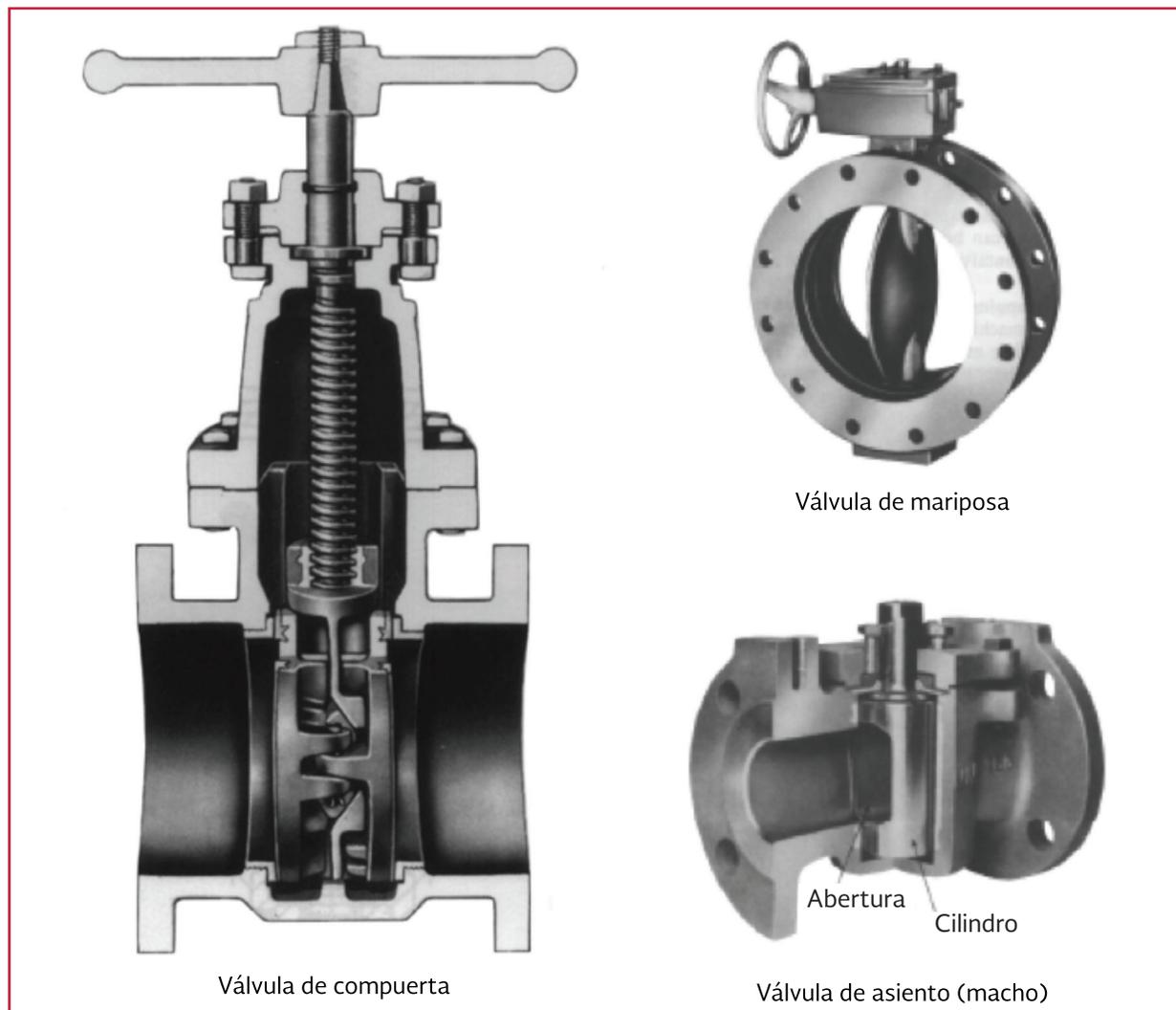
expulsión de aire que no se corroen y son muy ligeras. En redes de distribución las válvulas de compuerta son las más empleadas para aislar tramos de tubería, ya sea para su revisión o reparación, debido a su bajo costo, amplia disponibilidad y baja pérdida de carga cuando están completamente abiertas.

Dentro de las válvulas utilizadas en redes de distribución se pueden identificar:

- a) Válvulas de compuerta. Este tipo de válvula funciona con una placa que se mueve verticalmente a través del cuer-

po de la válvula en forma perpendicular al flujo (ilustración 2.12). El tipo de válvula de compuerta más empleado es la de vástago saliente. Tiene la ventaja de que el operador puede saber con facilidad si la válvula está abierta o cerrada. Es importante señalar que la válvula de compuerta está destinada propiamente para ser operada cuando se requiera un cierre o apertura total, no se recomienda para ser usada como reguladora de gasto debido a que provoca altas pérdidas de carga y porque puede cavitarse.

Ilustración 2.12 Válvulas de cierre



En válvulas de compuerta con diámetros mayores a 400 mm (16") se recomienda el uso de una válvula de paso (*bypass*), lo cual permite igualar las presiones a ambos lados de la válvula haciéndola más fácil de abrir o cerrar. Los diámetros recomendados de la válvula de paso se anotan en la Tabla 2.5

Tabla 2.5 Tamaños recomendados para válvulas de paso

Diámetro de la válvula	Diámetro de la válvula de paso
400 - 500 mm (16 - 20")	75 mm (3")
600 - 750 mm (24 - 30")	100 mm (4")
900 - 1 050 mm (36 - 42")	150 mm (6")
1 200 mm (48")	200 mm (8")

- b) Válvulas de mariposa. Estas válvulas se operan por medio de una flecha que acciona un disco y lo hace girar centrado en el cuerpo de la válvula (ilustración 2.12). Se identifican por su cuerpo sumamente corto. El diseño hidrodinámico de esta válvula permite emplearla como reguladora de gasto en condiciones de gastos y presiones bajos, así como para estrangular la descarga de una bomba en ciertos casos. La válvula de mariposa puede sustituir a la de compuerta cuando se tienen diámetros grandes y presiones bajas en la línea. Tienen la ventaja de ser más ligeras, de menor tamaño y más barato
- c) Válvulas de asiento. En este tipo de válvulas el elemento móvil es un cilindro, cono o esfera, en lugar de un disco (Ilustración 2.12). Tal elemento posee una perforación igual al diámetro de la tubería, por lo que requiere usualmente un giro de 90° para pasar de abertura total a cierre o viceversa. Se emplean para regular el gasto en los sistemas de distribución
- d) Válvulas de altitud. Las válvulas de altitud se emplean para controlar el nivel del agua en un tanque en sistemas de distribución con excedencias a tanques. Existen de dos tipos generales: una sola acción y doble acción (Ilustración 2.13) También se les denomina de un solo sentido o de dos sentidos de flujo. La válvula de una sola acción permite el llenado del tanque hasta un nivel determinado. El tanque abastece a la red por medio de una tubería de paso con una válvula de retención. La válvula de retención se abre cuando la presión en la red es menor a la provista por el tanque. La válvula de doble acción realiza el proceso anterior sin tener una tubería de paso (*bypass*). Nótese que la diferencia esencial entre ambas válvulas es el mecanismo de control, no la válvula en sí. También se les llama válvulas de altitud a aquellas que están provistas con un flotador, las cuales abren para llenar los depósitos hasta un nivel máximo, después modulan la apertura para mantener un nivel de agua constante en el depósito ajustando el suministro a la demanda
- e) Válvulas para admisión y expulsión de aire. Este tipo de válvulas se instalan para permitir la entrada o salida de aire a la línea (Ilustración 2.14). Lo anterior puede requerirse durante las operaciones de llenado o vaciado de la línea. Así mismo, se emplean en tramos largos de tubería, así como en puntos altos de las mismas donde suele acumularse aire, el cual bloquea la circulación del agua o reduce la capacidad de la conducción. También evitan la formación de vacíos parciales en la línea durante su vacia-

Ilustración 2.13 Válvulas de altitud en tanques elevados

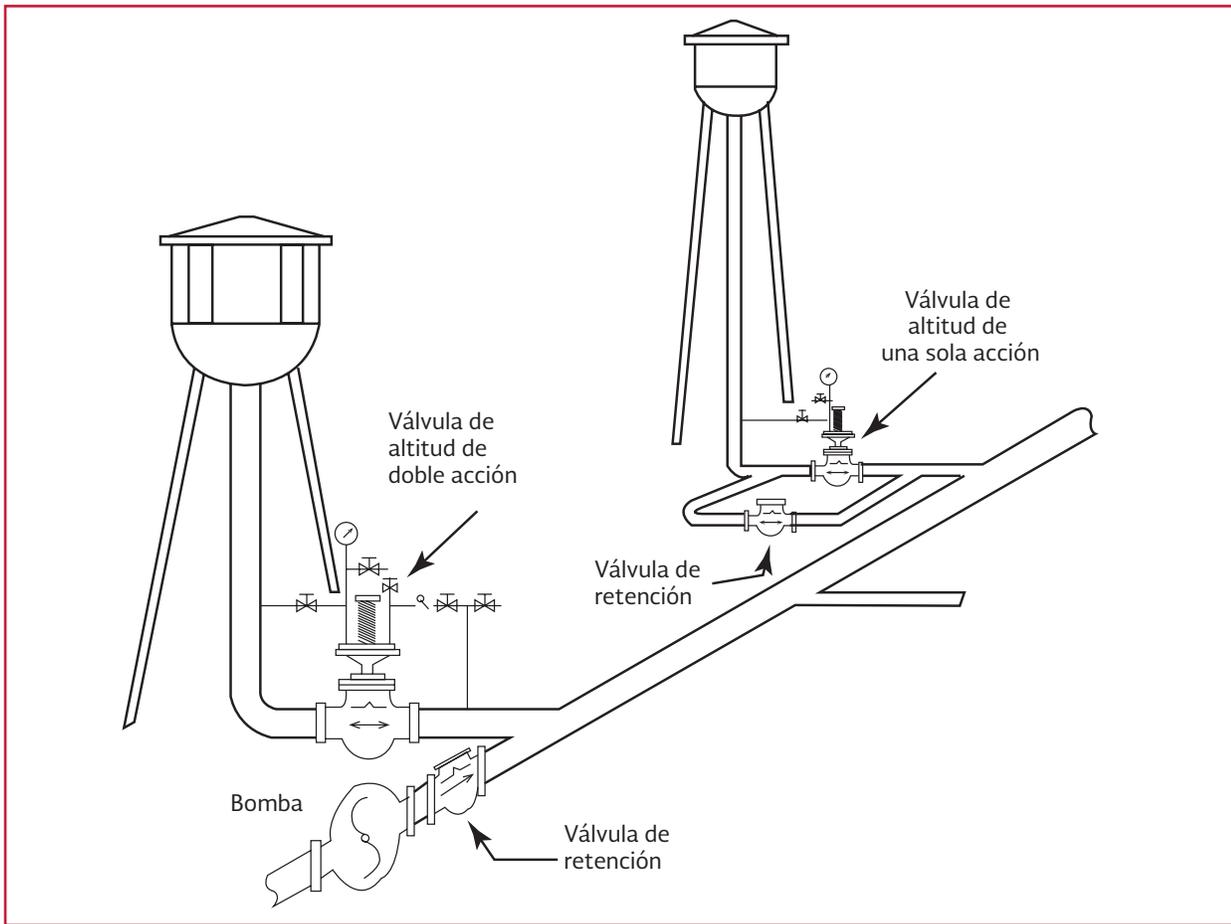
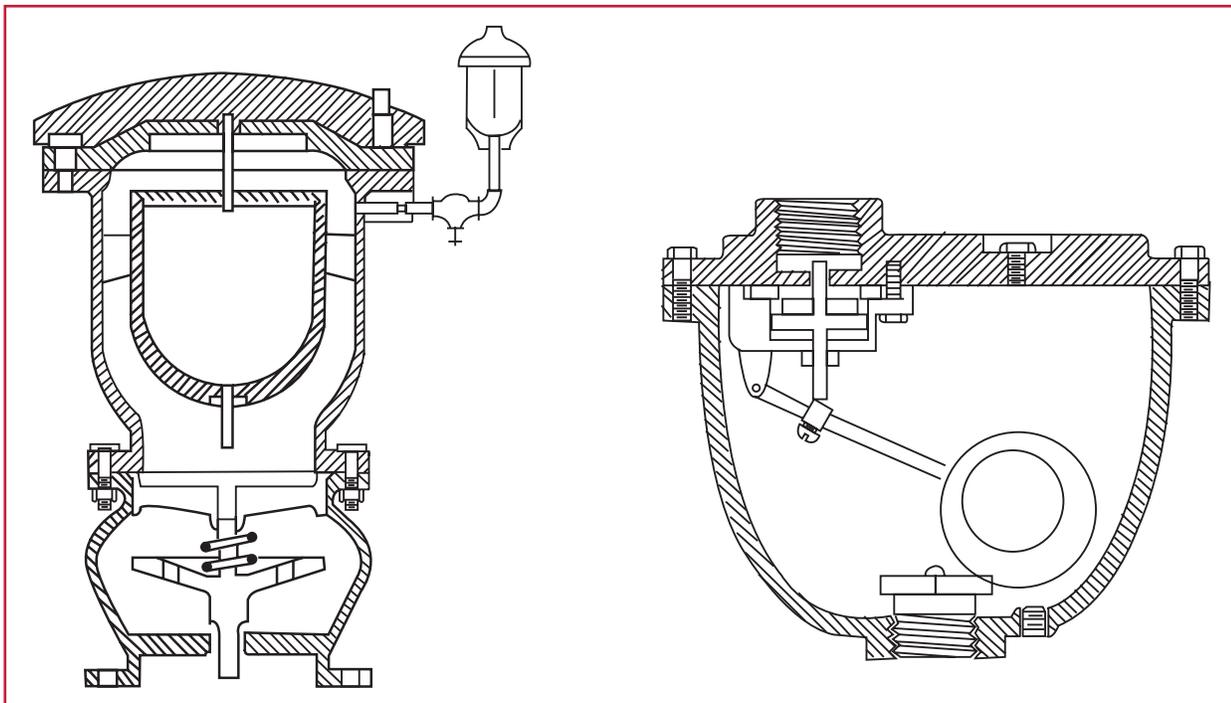


Ilustración 2.14 Válvulas de admisión y expulsión de aire



do, que pudieran causar el colapso o aplastamiento de la tubería. Son más empleadas en líneas de conducción y de alimentación ya que se colocan en los puntos altos

Estas válvulas poseen orificios de diámetro pequeño para conexión con la atmósfera. La apertura del orificio a la atmósfera se produce por medio de un dispositivo activado mediante un flotador. Tal dispositivo mantiene el orificio cerrado cuando no hay aire en el depósito de la válvula y lo abre cuando dicho depósito acumula aire o se genera un vacío.

Se recomienda ubicarlas especialmente en las líneas de conducción, en los puntos de cambio de la pendiente o en tramos largos en donde existen pendientes pronunciadas (ascendentes o descendentes). En redes de distribución pueden resultar necesarias únicamente en la tubería de gran diámetro de la red primaria.

- f) Válvulas controladoras de presión. Existe una gran variedad de válvulas controladoras de presión. Así se tienen válvulas: reductoras de presión, sostenedoras de presión o aliviadoras de presión (según su colocación), anticipadoras de onda y para el control de bombas. Algunas de estas funciones pueden combinarse entre sí y además puede añadirse la función de válvula de retención (unidireccional)

La válvula reductora de presión reduce la presión aguas arriba a una presión prefijada aguas abajo, independientemente de los cambios de presión y/o gastos. Se emplea generalmente para abastecer a zonas bajas de servicio. La válvula sostenedora de presión mantiene una presión fija aguas abajo y se cierra gradualmente

si la presión aguas arriba desciende de una predeterminada. Ambas válvulas pueden combinarse en una sola añadiendo además la característica de ser unidireccional (o de retención).

En lugar de una válvula reductora de presión, se puede construir una caja rompedora de presión, la cual consiste en un depósito pequeño al cual descarga la tubería mediante una válvula de flotador o de altitud. Esto permite establecer un nuevo nivel estático aguas abajo reduciendo la presión original a la atmosférica.

Las válvulas reductoras de presión tienen la ventaja de ajustarse a las condiciones de la tubería, sean estas variables o no. Esto las hace más aptas para instalarse en la tubería dentro de la red de distribución, donde las presiones varían con la demanda. Ocupan menos espacio que una caja rompedora y se evita el contacto directo del agua con la atmósfera, lo que reduce el riesgo de contaminación del agua potable. Por otro lado, las válvulas reductoras tienen mecanismos más complejos que requieren de un mejor mantenimiento y de una calibración periódica. Las cajas rompedoras son más sencillas y con menores necesidades de mantenimiento. En todo caso, la elección entre una válvula reductora de presión y una caja rompedora de presión se debe basar en un análisis económico y operativo.

Existe una válvula sostenedora de presión que mantiene una presión determinada aguas arriba independientemente de los cambios de presión o gasto después de ella. Si se intercala en la tubería funciona como sostenedora de presión y si se coloca en una derivación funciona como válvula de alivio.

Las válvulas anticipadoras de onda protegen los grupos de bombeo de la onda de presión causada por el paro de bombas o la falla de energía eléctrica. Se abren inmediatamente al inicio de la onda de presión negativa y evacuan a la atmósfera el exceso de presión que provoca la onda de presión positiva. Existe además una válvula de seguridad de diferencial, la cual mantiene una presión diferencial entre dos puntos, usada por ejemplo para mantener el caudal constante en una bomba.

Finalmente, las válvulas de control de bombas se instalan en la impulsión de la bomba a fin de evitar las ondas de presión en el arranque y parada de las bombas. La bomba y la válvula se sincronizan para poner en marcha o parar el motor mientras la válvula está cerrada. En caso de avería o falla de energía actúa como válvula de retención.

g) Válvulas de globo. Constan de un disco horizontal que se acciona mediante un vástago que abre o cierra un orificio por donde circula el agua (Ilustración 2.15). Este mecanismo se encuentra dentro de una caja de hierro fundido con extremos de brida para los diámetros grandes y de rosca para los pequeños. Son voluminosas y presentan una alta resistencia al paso del agua, por lo que se emplean generalmente, en tubería de diámetros pequeños (domésticas). También pueden ser usadas para drenar o vaciar tuberías

i) Válvulas de retención. Las válvulas de retención (*check*) son automáticas y se emplean para evitar contraflujos (son unidireccionales), es decir, flujos en dirección contraria a la de diseño (Ilustración 2.16). Se instalan en tuberías donde el agua contenida puede revertir su dirección de flujo durante el paro de

Ilustración 2.15 Válvulas de globo

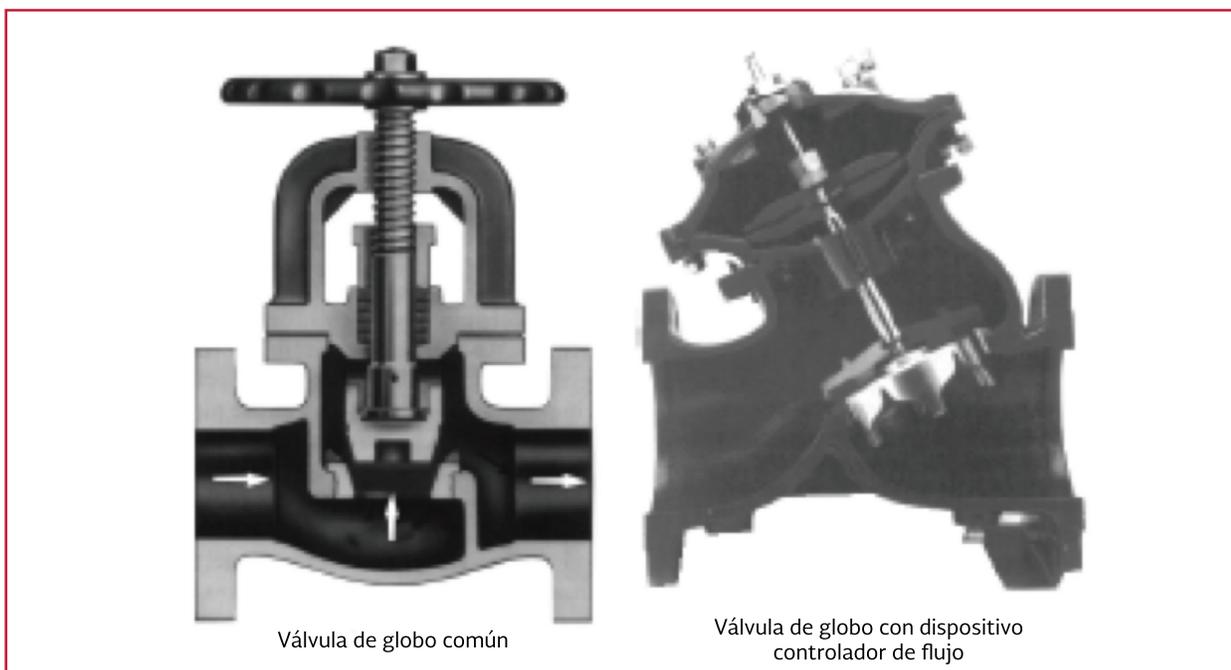
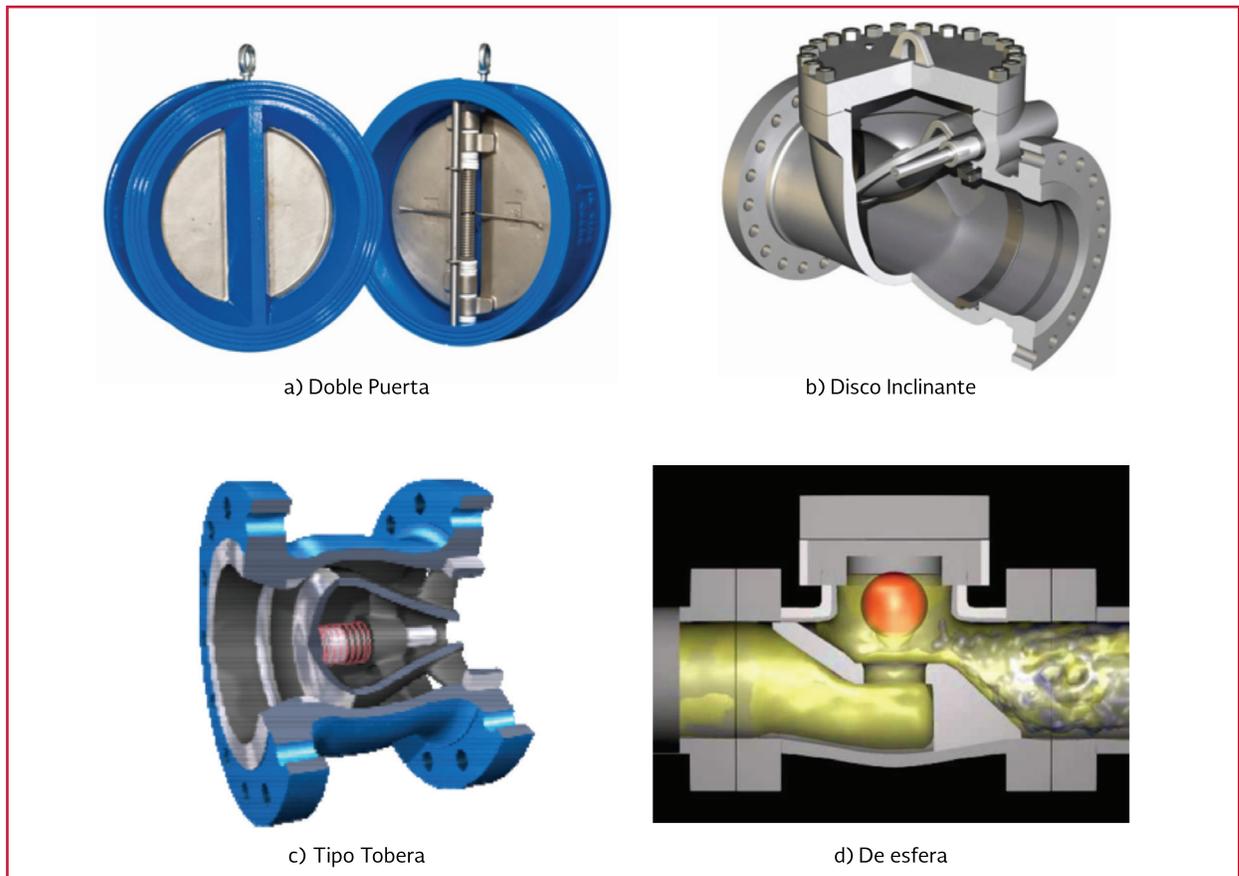


Ilustración 2.16 Válvulas de retención (*check*)



una bomba o el fallo de energía eléctrica y dañar instalaciones hidráulicas tales como bombas y sus respectivos motores. Además impiden el vaciado de la línea

Aunque existen otros tipos de válvulas de control de bombas, las de retención son las más sencillas, pero pueden generar golpe de ariete (ondas de presión) que dañan válvulas y tubería. Así, se emplean válvulas de retención con dispositivos adicionales para permitir un cierre lento y minimizar los efectos del golpe de ariete.

2.4. CAJAS DE VÁLVULA

2.4.1. CAJA PARA LÍNEAS DE CONDUCCIÓN

Las cajas de registro para válvulas de líneas de conducción se clasifican por su ubicación en: enterradas y superficiales.

Las dimensiones de la caja deberá definirse considerando un espacio que permita el acceso y libertad de movimiento para la instalación, operación y remoción de válvulas y accesorios,

así como manipular libremente cualquier herramienta de trabajo. Se deben respetar como mínimo las distancias presentadas en la Tabla 2.6, en la cual se establece la separación mínima entre paños internos de muros *A* y *B*, piso *E* y losa *G* a cualquier extremo de válvulas (considerando el vástago de la válvula en su máxima extensión) y accesorios, así como la altura mínima de caja *F* observe la Ilustración 2.17 e Ilustración 2.18.

2.4.1.1 Consideraciones para la construcción

La construcción de cajas, el acero de refuerzo, la resistencia del concreto y los espesores; deben definirse con base en el análisis de cargas vivas por paso vehicular y por la reacción del terreno, además deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones.

Muros. Se construyen al exterior o enterrados, pueden ser de malla ciclónica, concreto o mampostería, esta última debe ser reforzada de acuerdo con las especificaciones constructivas.

Se debe evitar que las paredes del muro, perpendiculares a la conducción, hagan contacto con el perímetro exterior del tubo, manteniendo una separación de 2 cm; este espacio se debe rellenar con material comprimible.

Las cajas deben estar provistas de una escalera tipo 'marina'; el primer escalón debe estar una distancia de 400 a 500 mm de la parte superior de la tapa, debe mantener un paso de 300 mm y una separación del muro de 150mm.

Piso. El piso de la caja debe tener una inclinación de dos por ciento de tal forma que su pendiente sea en dirección del registro de acceso, donde se hará una depresión (caja de achique) de 400 x 400 mm por lado y 150 mm de profundidad, cubierta con una rejilla metálica que permita la extracción del agua mediante una bomba o de forma manual en caso de inundación.

Silletas. Las válvulas deberán estar apoyadas en silletas, las cuales pueden construirse de acero o de concreto. El diseño del apoyo debe ser de

Tabla 2.6 Separación mínima entre paños internos de muros, piso y losa a cualquier extremo de válvulas. La altura *F* se calculó considerando una válvula de compuerta con vástago desplazable

Diámetro de válvulas		Dimensión mínima						
mm	pulgadas	mm						
		A	B	C	D	E	F	G
305	12	500	506	2 300	2 200	500	2 600	563
355	14	500	506	2 300	2 200	500	2 600	563
406	16	500	506	2 300	2 200	500	2 600	563
457	18	500	506	2 300	2 200	500	2 600	563
508	20	500	596	2 900	3 000	500	3 900	559
610	24	500	596	2 900	3 000	500	3 900	559
762	30	500	596	2 900	3 000	500	3 900	559
914	36	509	500	2 800	3 250	700	5 500	500
1 220	48	509	500	2 800	3 250	700	5 500	500

Ilustración 2.17 Caja de válvula (Planta)

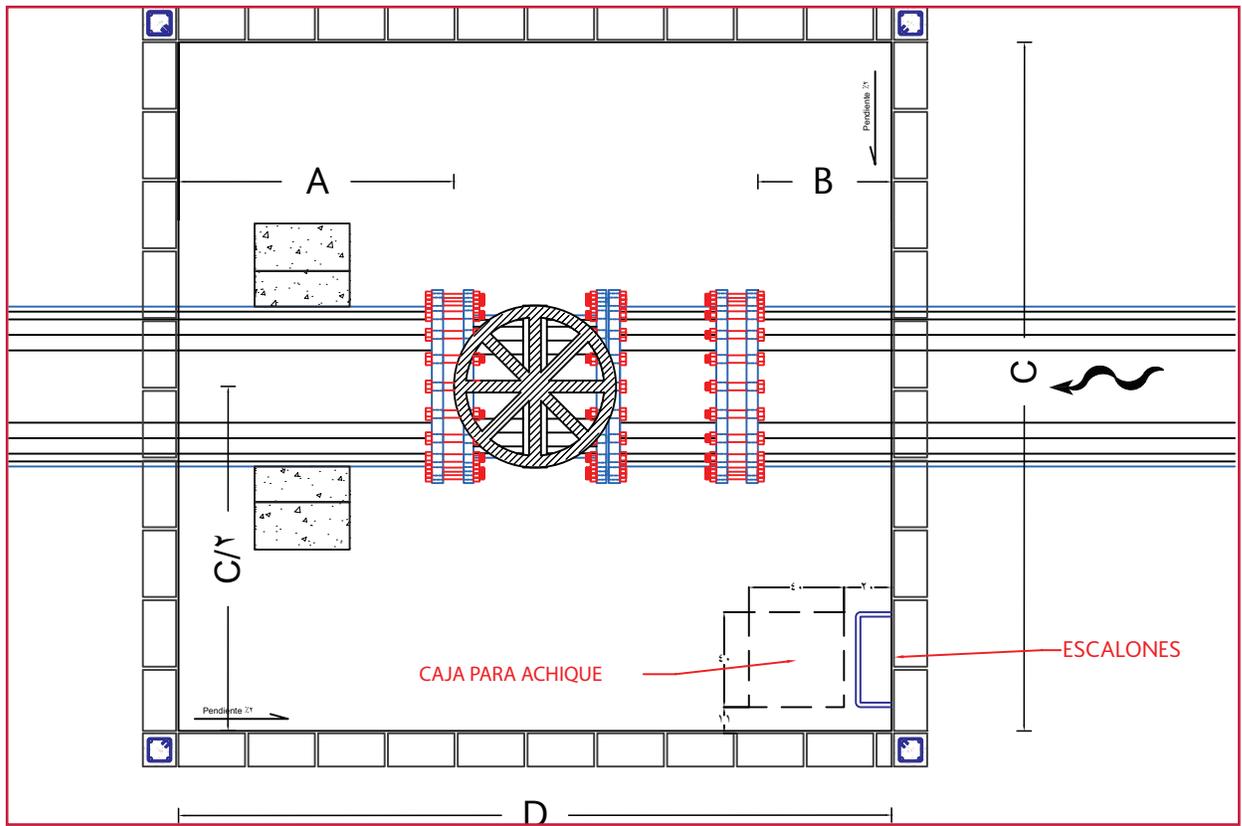
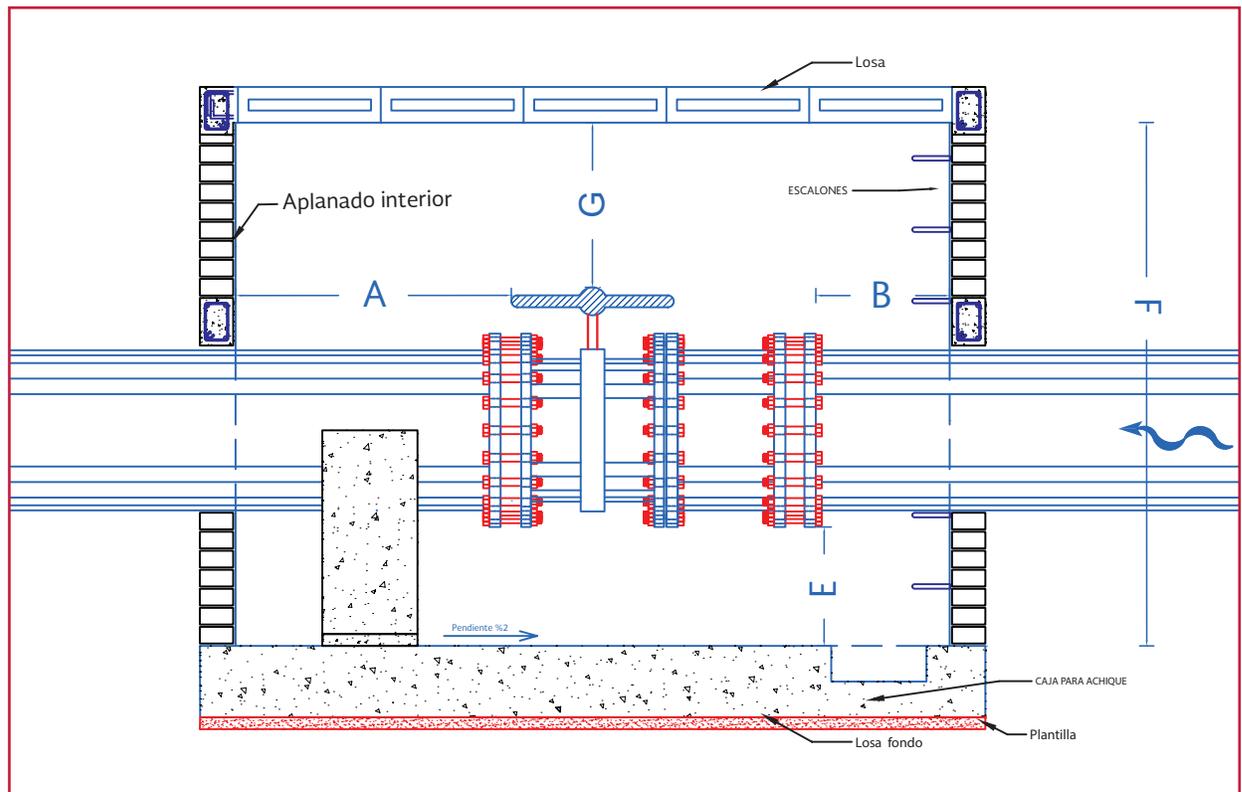


Ilustración 2.18 Caja de válvula (Elevación)



tal forma que no interfiera con la remoción o instalación de los tornillos del elemento de conexión.

Losa. La losa puede diseñarse en módulos móviles o una losa maciza con una tapa móvil; el dimensionamiento del peralte y el acero de refuerzo deben efectuarse con base en el análisis de cargas vivas por paso de vehículos.

Cuando exista la necesidad de alojar piezas especiales la caja deberá tener las dimensiones requeridas de acuerdo con las dimensiones y necesidades de los equipos o elementos a alojar.

2.4.2. CAJAS PARA CRUCEROS

Este apartado presenta el diseño de cajas 'tipo', se emplean para la operación de válvulas con diámetros de 50 mm (2") hasta 500 (20"). Para válvulas de diámetros mayores, deberá considerarse lo expuesto en el apartado anterior.

Las cajas para operación se clasifican en 13 tipos, de acuerdo al diámetro, número y distribución de válvulas, observe la Tabla 2.7 y la Tabla 2.8. Para seleccionar el tipo de caja adecuada a cada necesidad puede utilizar el esquema presentado en la Tabla 2.9.

2.4.2.1 Consideraciones para la construcción

La construcción de este tipo de cajas debe ser cumpliendo con las dimensiones de la Tabla 2.7 y la Tabla 2.8.

Piso. El piso debe construirse sobre una plantilla de concreto simple o pedacería de tabique de 10 cm de espesor, siempre que se desplante sobre tierra u otro material semejante. La losa será de 10 cm de espesor con refuerzo de varilla #3 a 30 cm en ambos sentidos; el proporcionamiento del concreto debe ser de una resistencia mínima de 200 kg/cm²; debe tener una inclinación de dos por ciento de tal forma que su pendiente sea en dirección del registro de acceso, donde

Tabla 2.7 Dimensiones generales para cajas de válvula

Tipo	Válvulas				Dimensiones				
	Diámetro			Cantidad	h	a	b	c	e
	mm		mm•		m	m	m	cm	cm
1	50	a	60	1	0.67	0.7	0.7	11.3	14
2	75	a	150	1	1.07	1	0.9	11.3	14
3	200	a	350	1	1.32	1.4	1.2	16.3	28
4	450	a	500	1	1.77	1.7	1.6	16.3	28
5	50	a	150	2	0.97	1.3	0.9	11.3	14
6	150	a	200	2	1.17	1.4	1.2	16.3	28
7	250	a	350	2	1.52	1.9	1.6	16.3	28
8	350	a	450	2	1.47	2.2	1.6	16.3	28
9	50	a	150	2	1.12	1.2	0.9	11.3	14
10	150	a	250	2	1.07	1.3	1.2	11.3	14
11	250	a	350	2	1.32	1.7	1.6	16.3	28
12	50	a	150	3	1.07	1.4	1.1	11.3	28
13	250	a	450	3	1.47	2.3	1.6	16.3	28

Tabla 2.8 Dimensiones generales para cajas de válvula (continuación)

Tipo	Válvulas				Dimensiones de losa		Contramarco			
	Diámetro			Cantidad	x	y	Sencillo	Doble	c	Cantidad
	mm		mm•		m	m			mm	
1	50	a	60	1	0.98	0.98	0.9		100	1
2	75	a	150	1	1.28	1.18	1.1		100	1
3	200	a	350	1	1.98	1.76	1.6		150	1
4	450	a	500	1	2.26	2.16	2		150	1
5	50	a	150	2	1.58	1.18	1.1		100	2
6	150	a	200	2	1.98	1.76		1.8	150	1
7	250	a	350	2	2.46	2.16	2		150	2
8	350	a	450	2	2.78	2.16	2		150	2
9	50	a	150	2	1.48	0.18	1.1		100	2
10	150	a	250	2	1.58	1.48	1.4		100	2
11	250	a	350	2	2.26	2.16	2		150	2
12	50	a	150	3	1.96	1.66	1.8	1.8	100	2
13	250	a	450	3	2.86	2.16	2		150	3

Tabla 2.9 Recomendaciones para selección de caja para operación de válvulas

Diámetro de la válvula mayor		Número y posición de las válvulas			
mm	pulgadas				
50	2	1			
60	2 1/2		5	9	12
75	3				
100	4	2			
150	6				
200	8		6	10	
250	10	3			
300	12		7	11	
350	14				
400	16		8		13
450	18	4		Diseño especial	
500	20		Diseño especial		Diseño especial

se hará una depresión (caja de achique) de 400 x 400 mm por lado y 150 mm de profundidad, cubierta con una rejilla metálica que permita la extracción del agua mediante una bomba o de forma manual, en caso de inundación.

Losa. Debe llevar un armado de varilla #3 a 10 cm en ambos sentidos, cuidando que el

armado inferior sea en el sentido más corto de la caja; los perfiles estructurales de 150 mm (6") de peralte, empleados en la construcción del contramarco serán de tipo liviano; el concreto debe cumplir con una resistencia mínima de 200 kg/cm²; al contramarco se le soldará una varilla perimetral, como lo indica la Ilustración 2.21, con el objetivo de poder

Ilustración 2.19 Caja de operación para válvulas (Elevación)

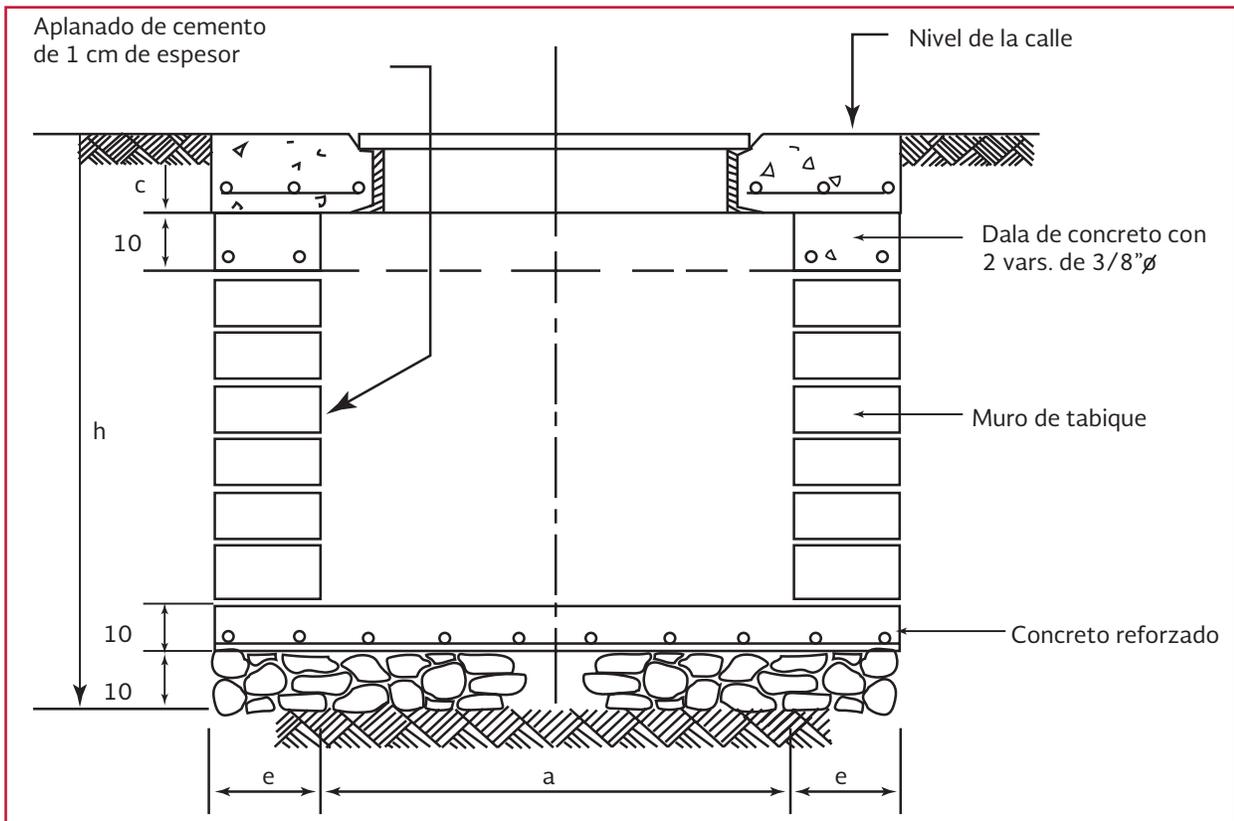
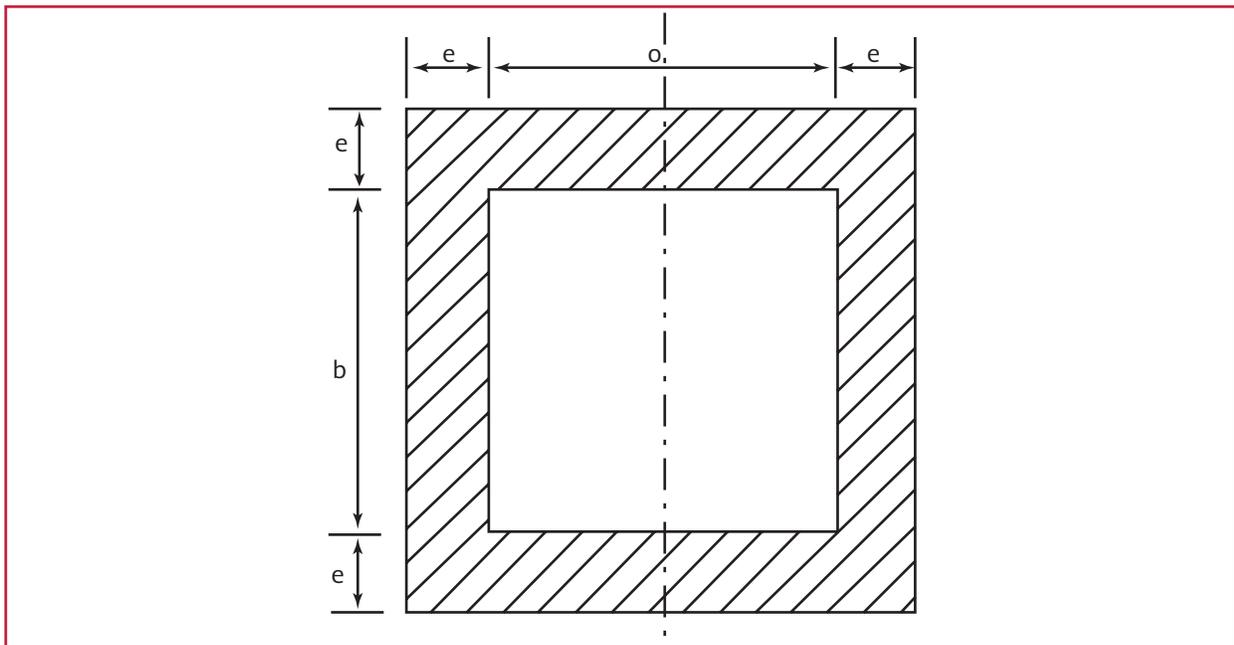


Ilustración 2.20 Caja de operación para válvulas (Planta)



sujetar sólidamente el contramarco con la losa de cubierta. Las dimensiones de los perfiles estructurales empleados para la construcción de los contramarcos se muestran en la Ilustración 2.22. Por su parte, la Ilustración 2.23 muestra las dimensiones generales del marco y la tapa que se consideran para el diseño de la caja.

El diseño de la caja debe seleccionarse de acuerdo con la cantidad, el diámetro y la posición de las válvulas. Dicha selección debe hacerse considerando la Tabla 2.7, Tabla 2.8 y Tabla 2.9. De la Ilustración 2.24 a la Ilustración 2.35 se presentan los esquemas para los 13 tipos de cajas.

Ilustración 2.21 Armado del contramarco

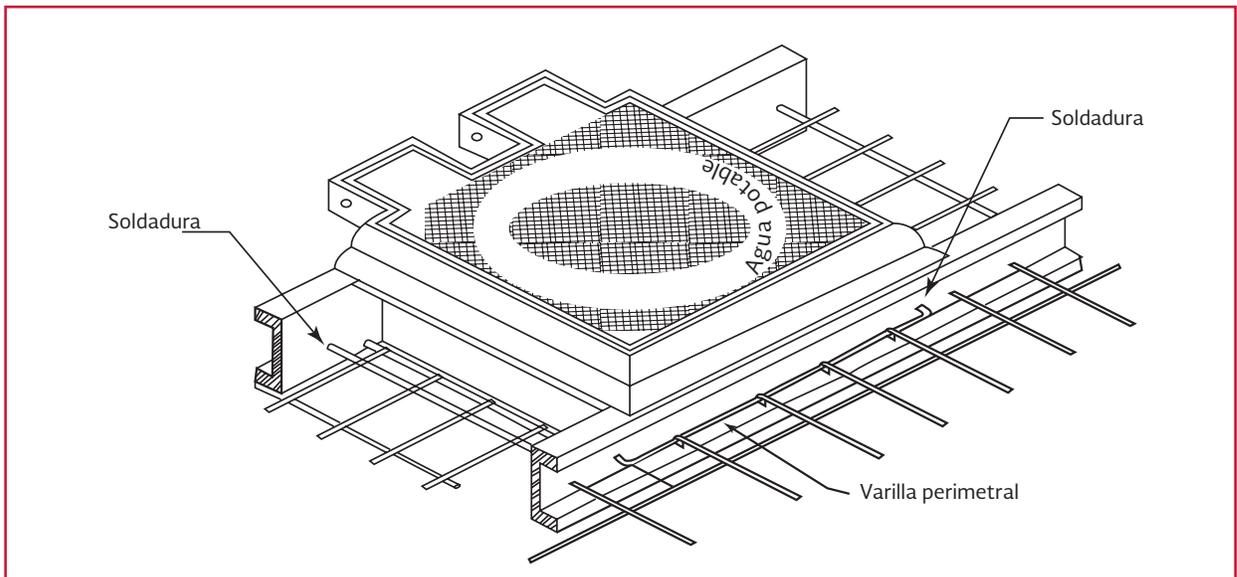


Ilustración 2.22 Dimensiones del contramarco

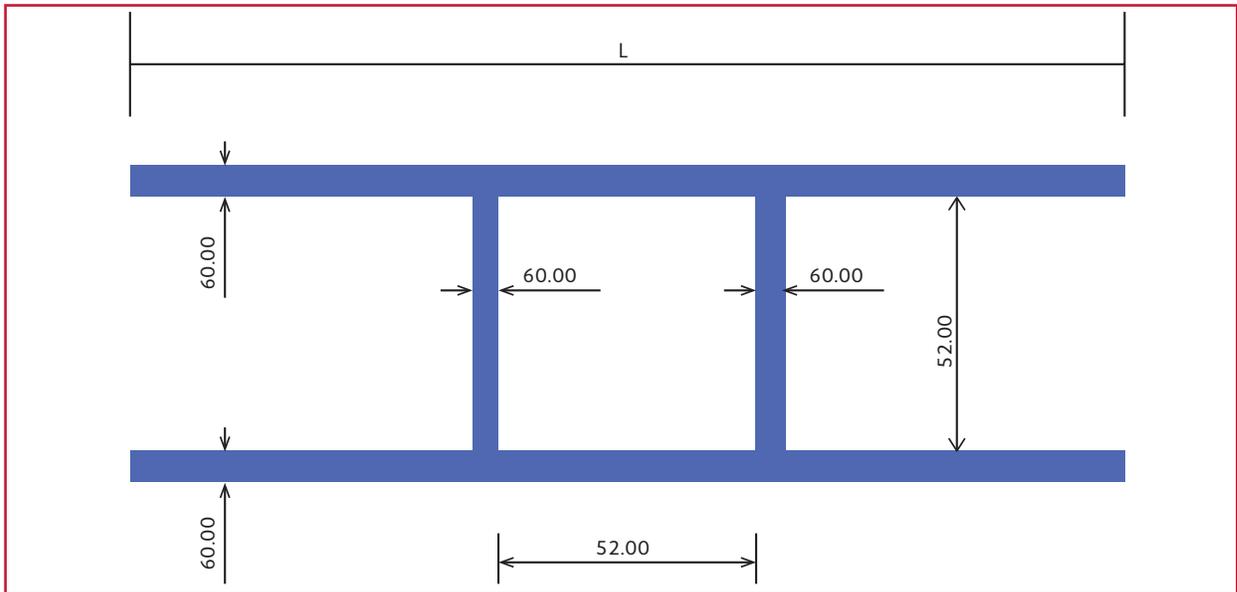


Ilustración 2.23 Dimensiones de marco y tapa

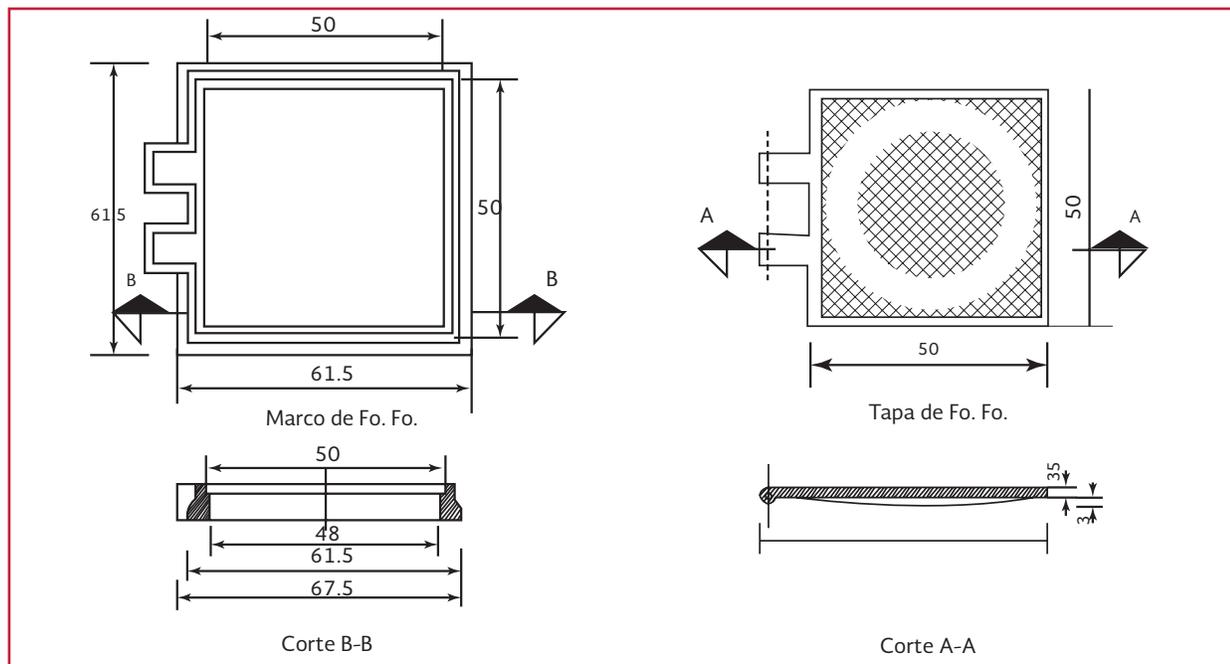


Ilustración 2.24 Cajas tipo 1 y tipo 2

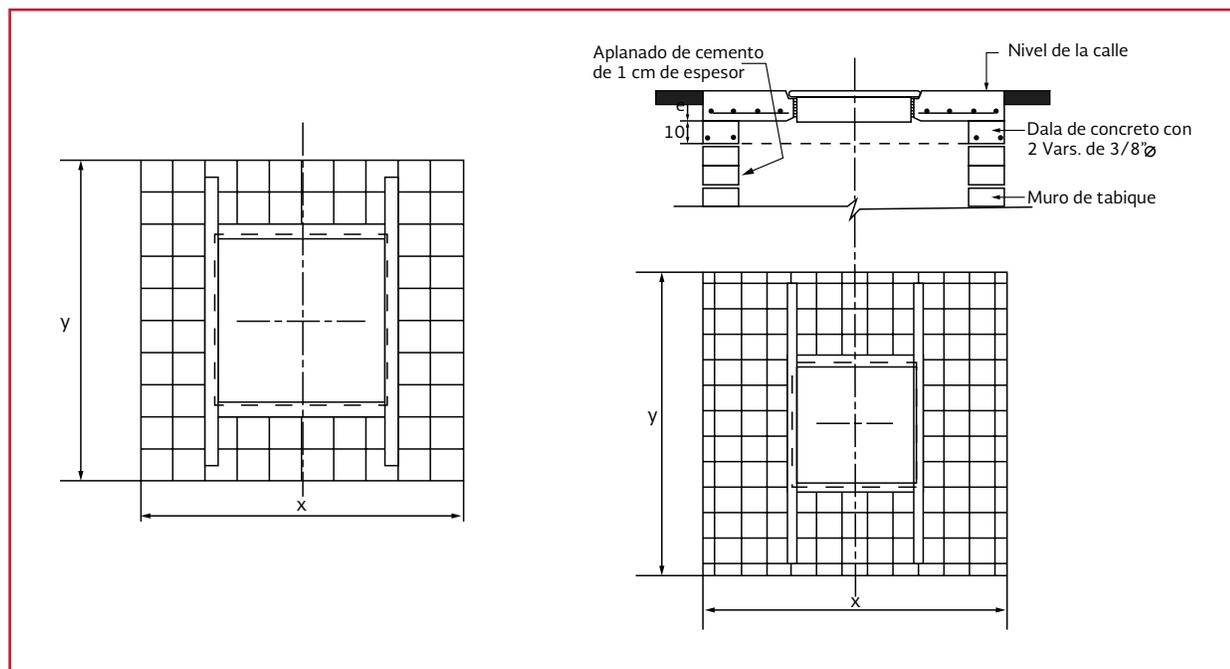


Ilustración 2.25 Caja tipo 3

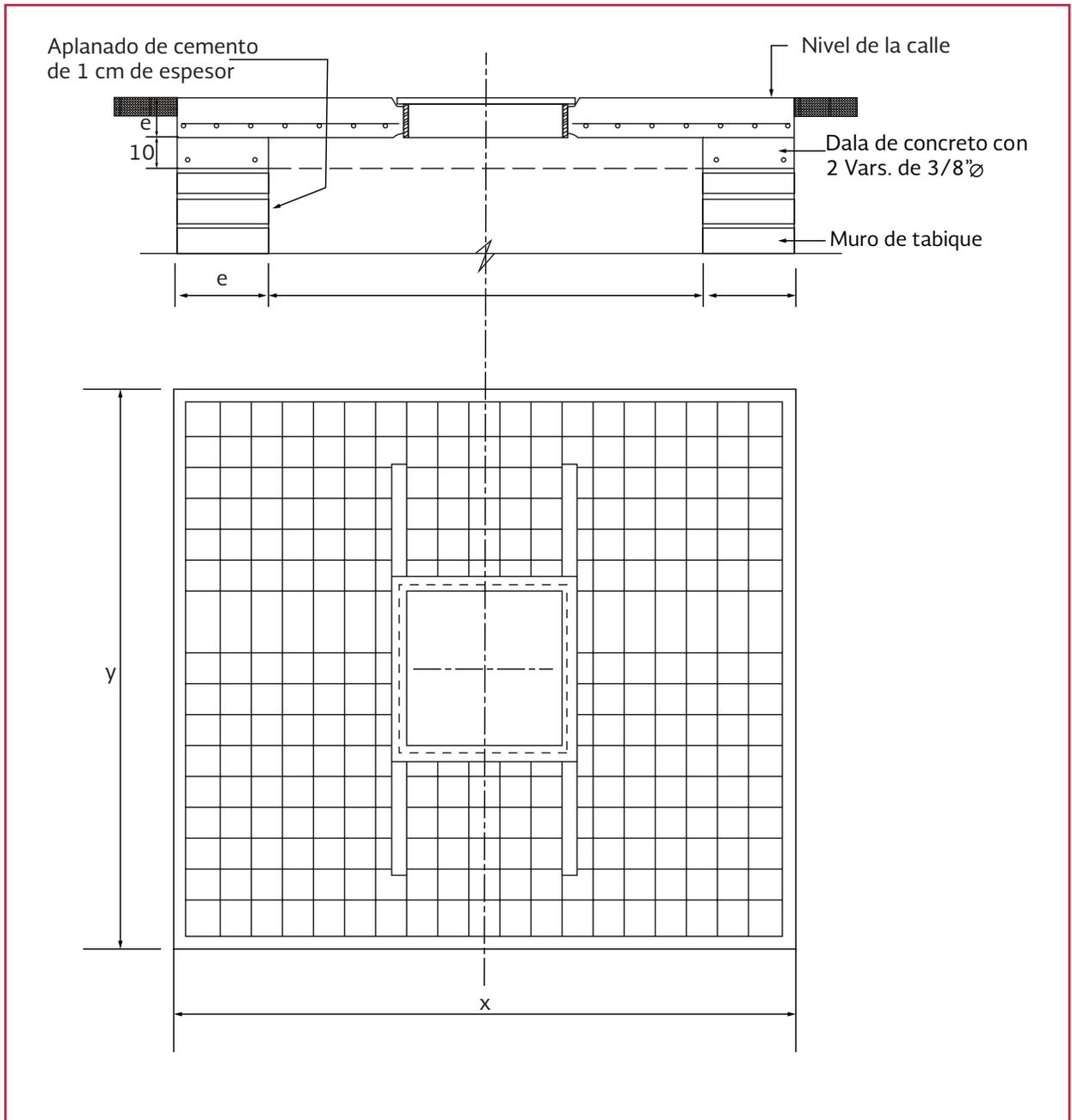


Ilustración 2.26 Caja tipo 4

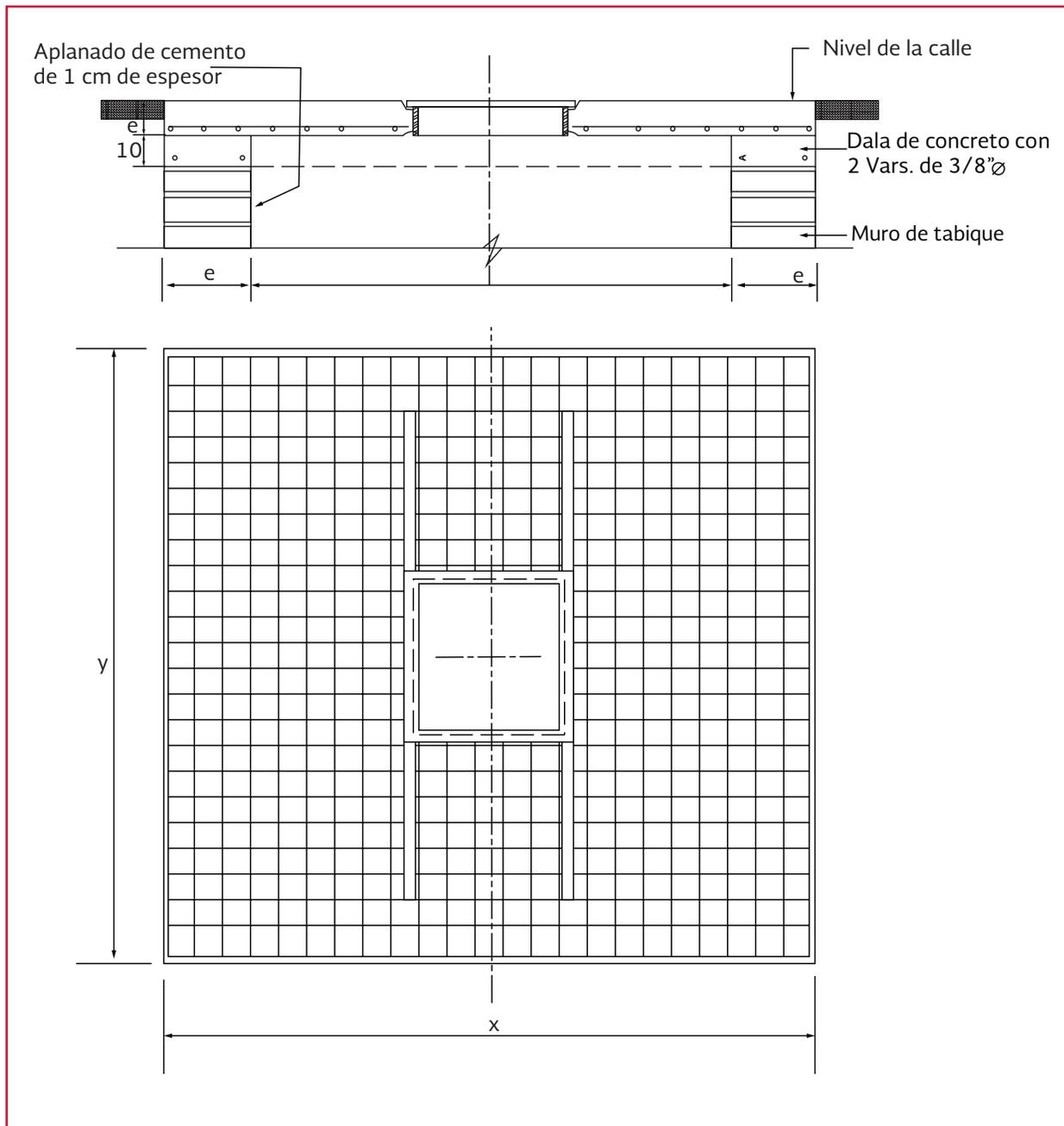


Ilustración 2.27 Caja tipo 5

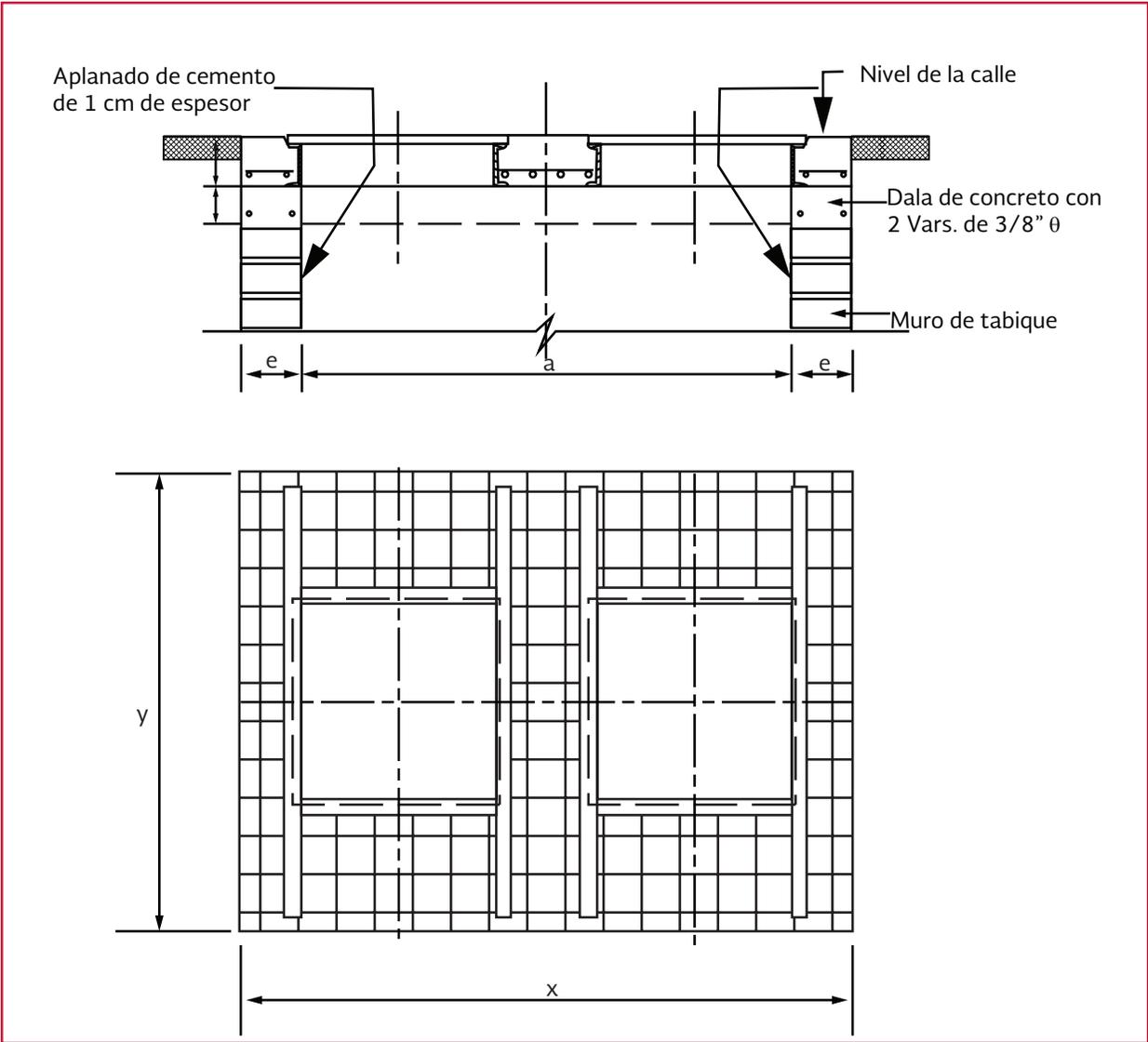


Ilustración 2.28 Caja tipo 6

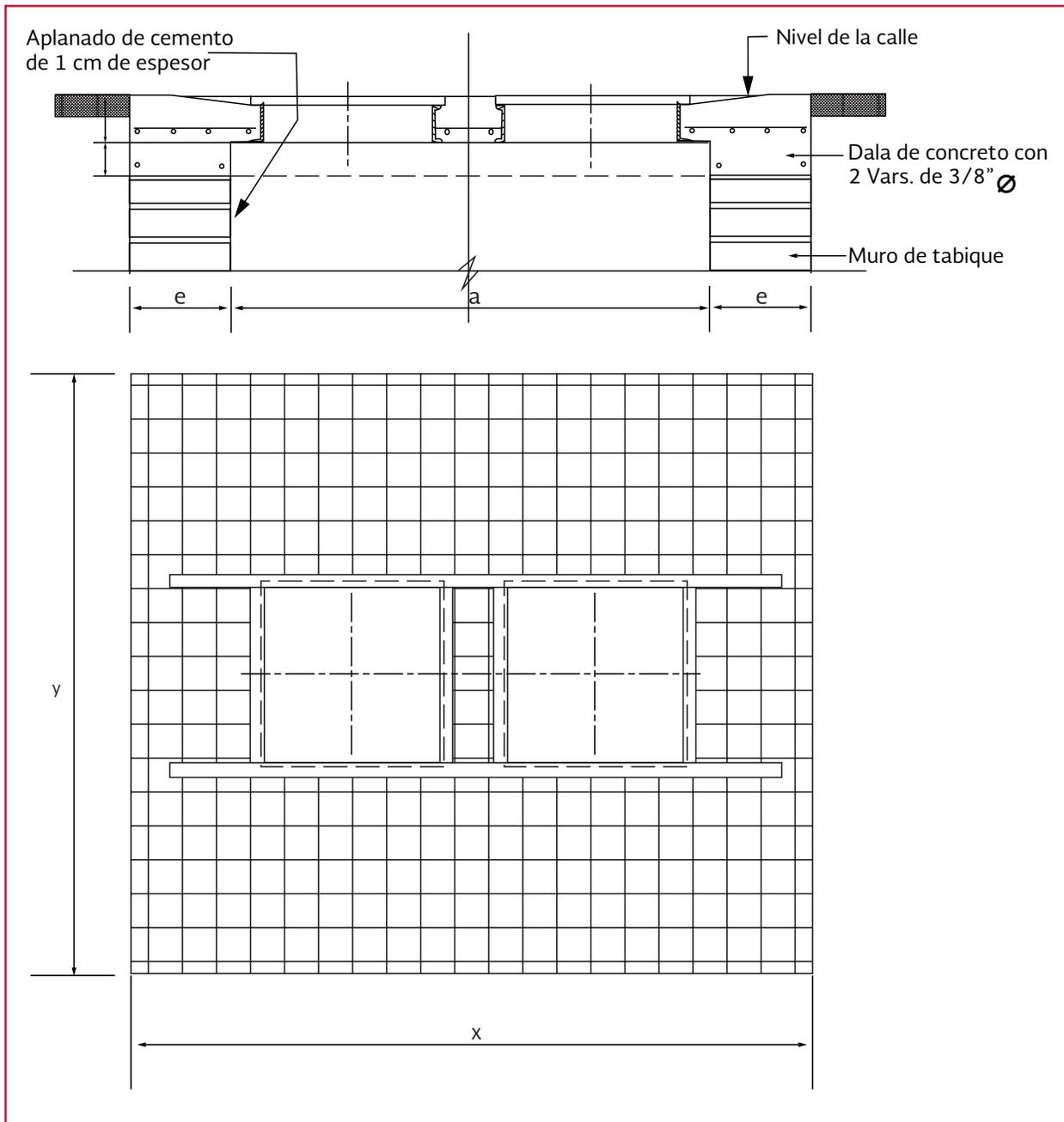


Ilustración 2.29 Caja tipo 7

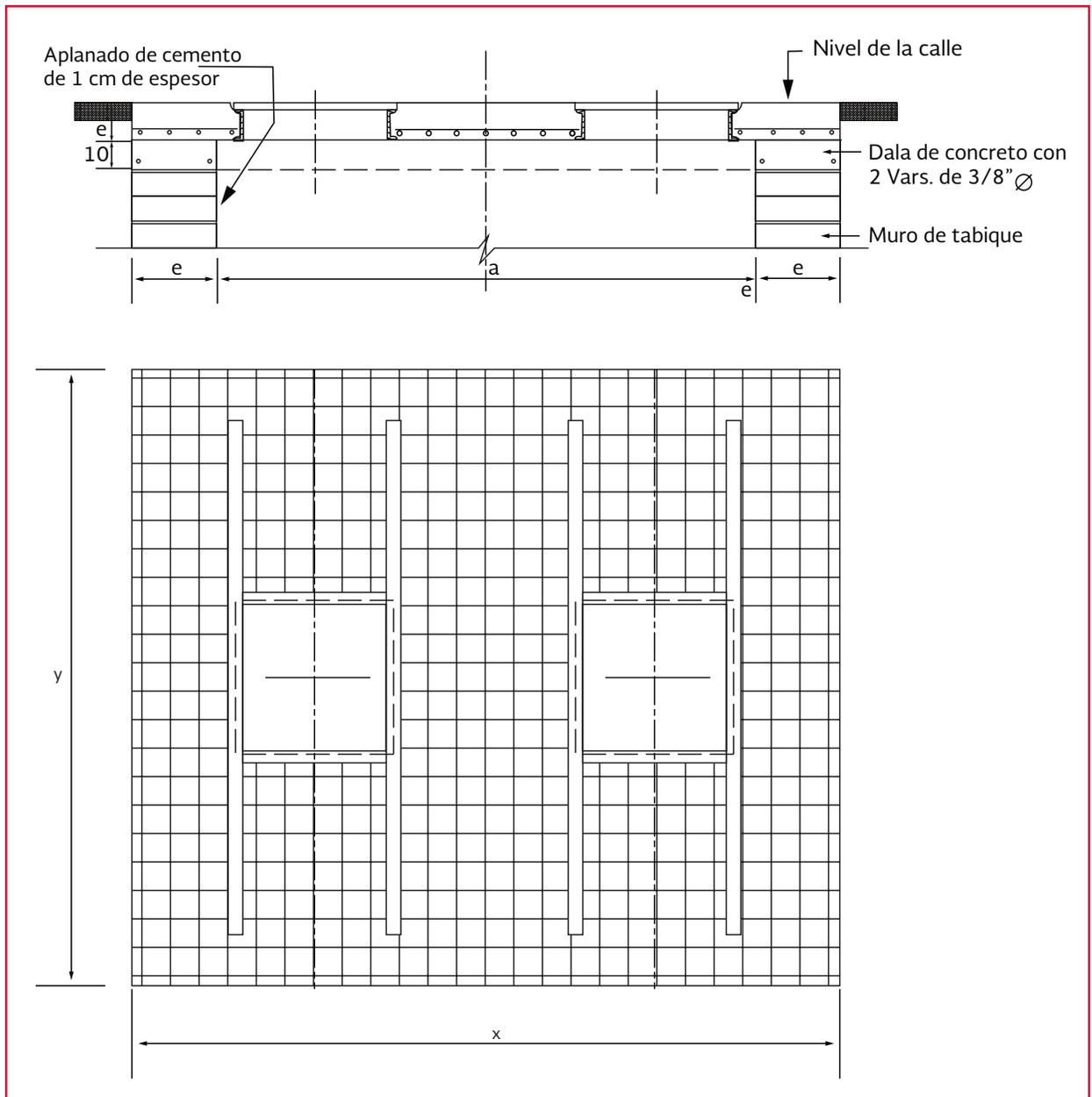


Ilustración 2.30 Caja tipo 8

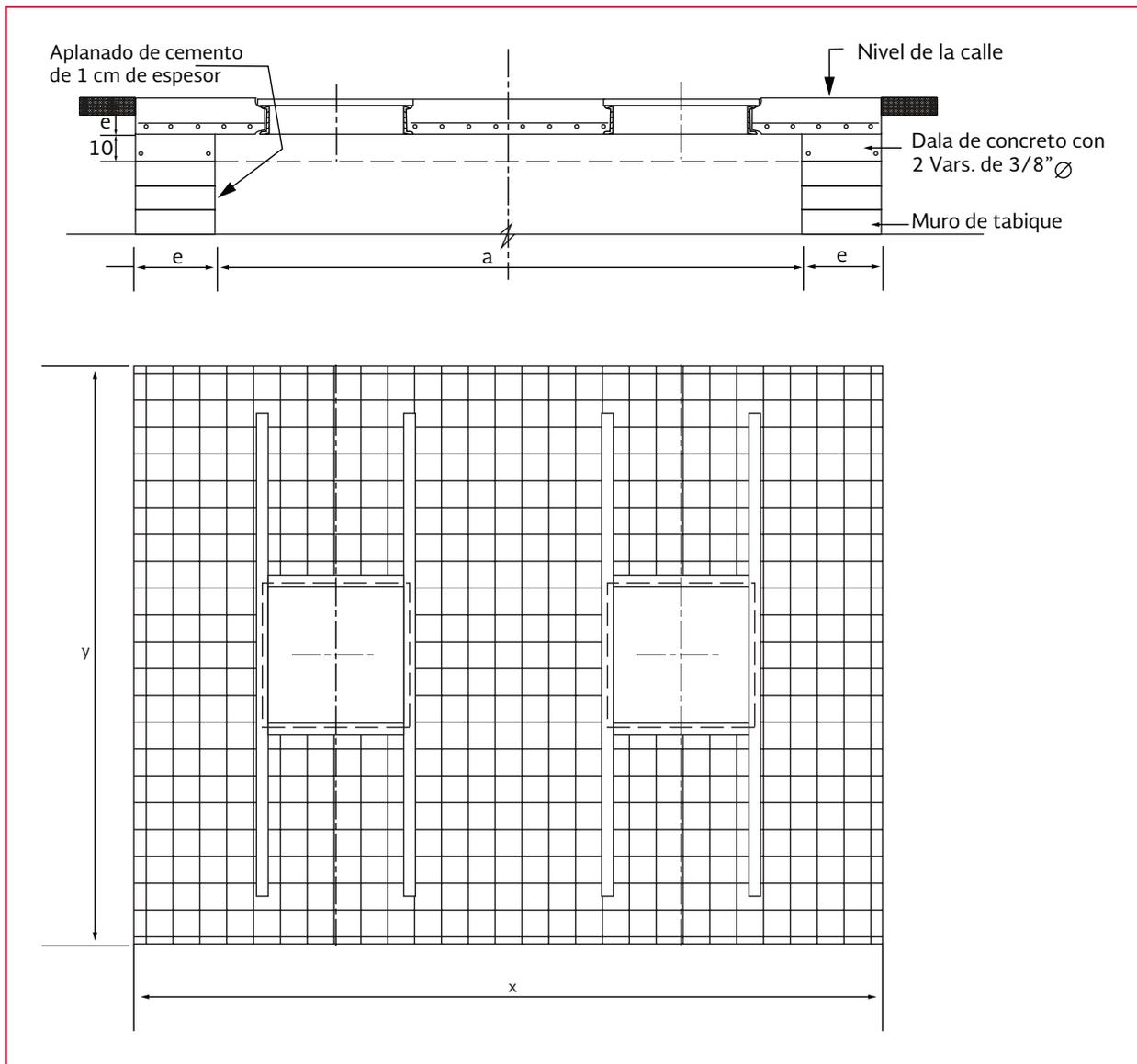


Ilustración 2.31 Caja tipo 9

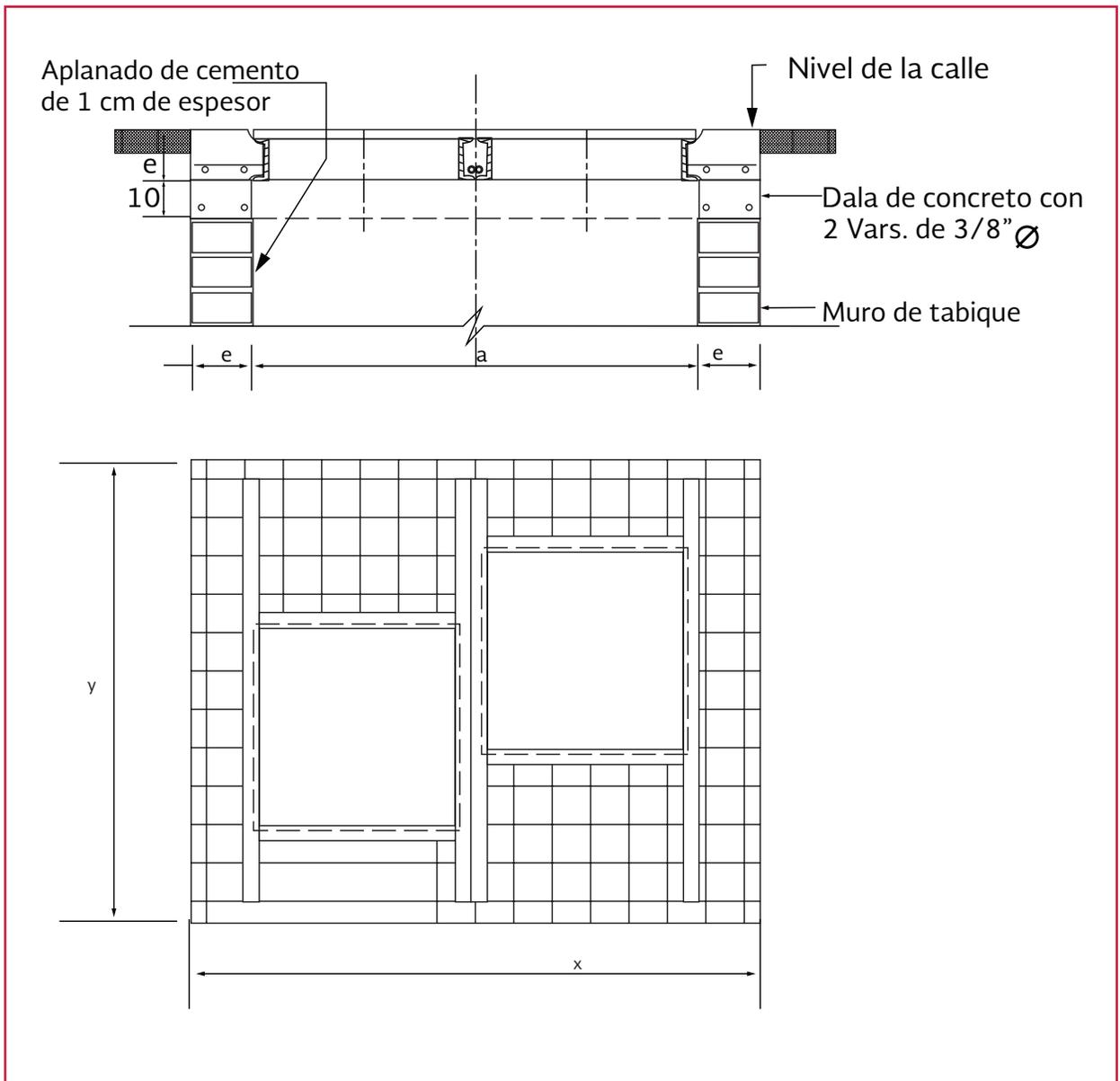


Ilustración 2.32 Caja tipo 10

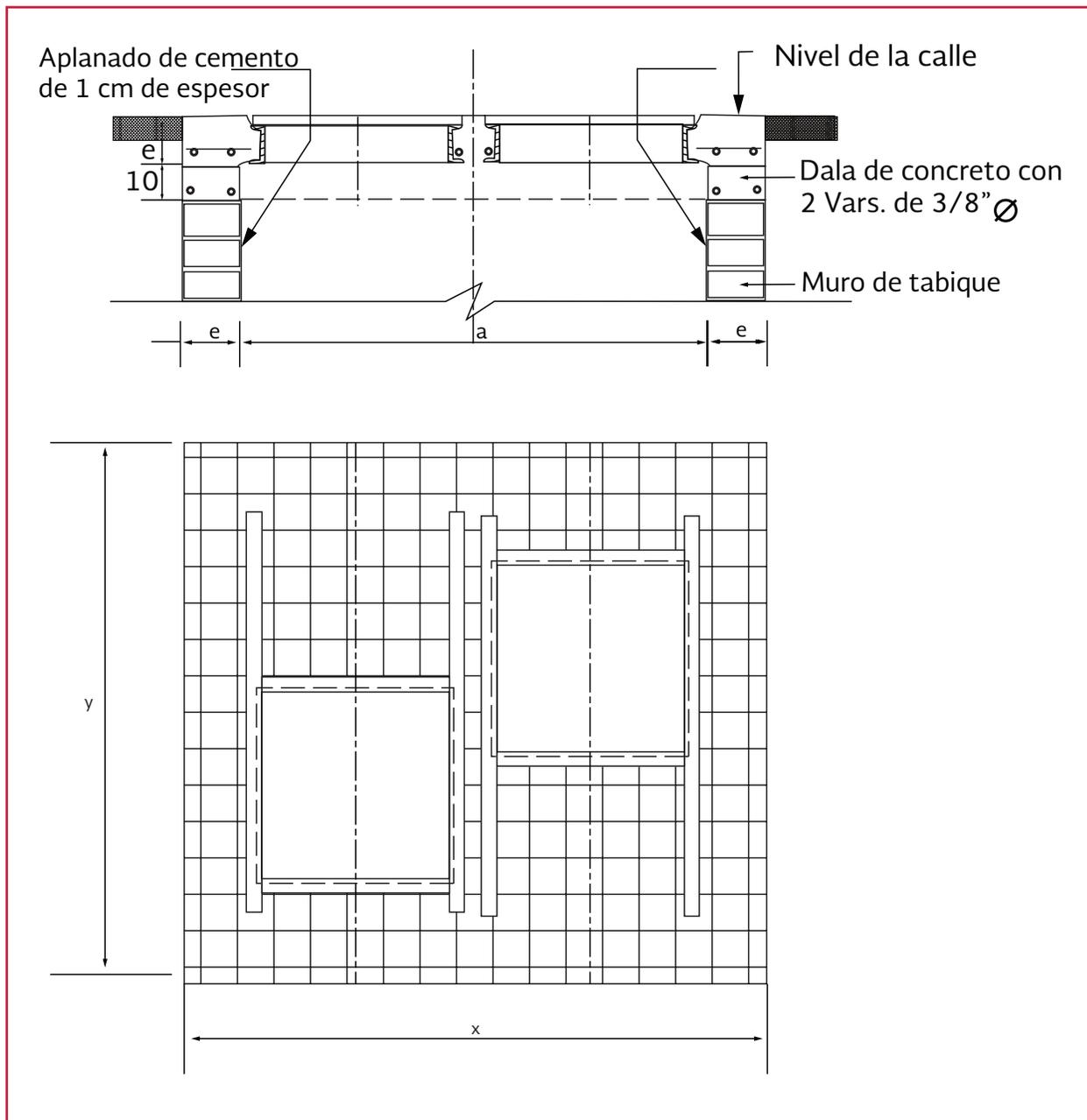


Ilustración 2.33 Caja tipo 11

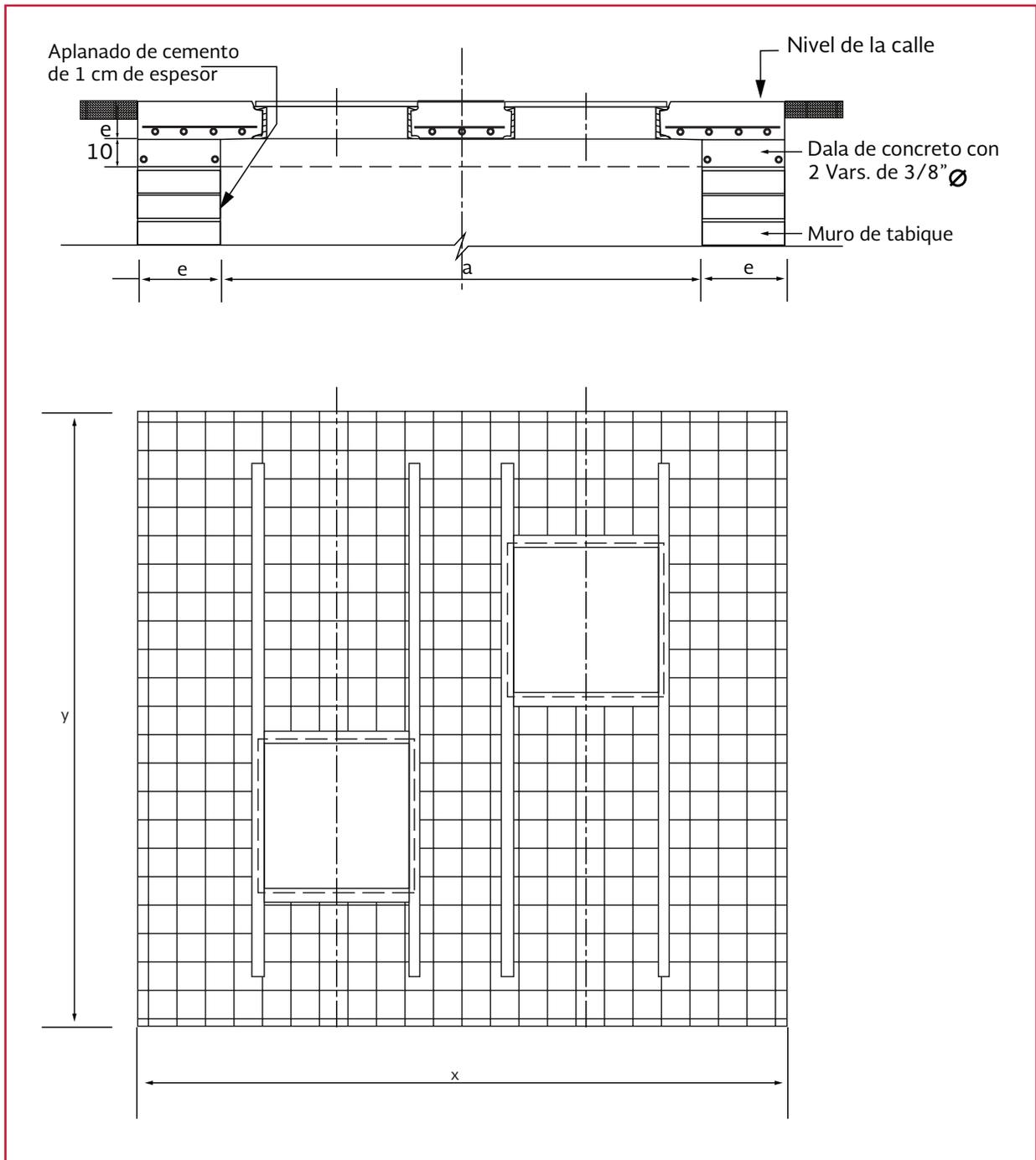


Ilustración 2.34 Caja tipo 12

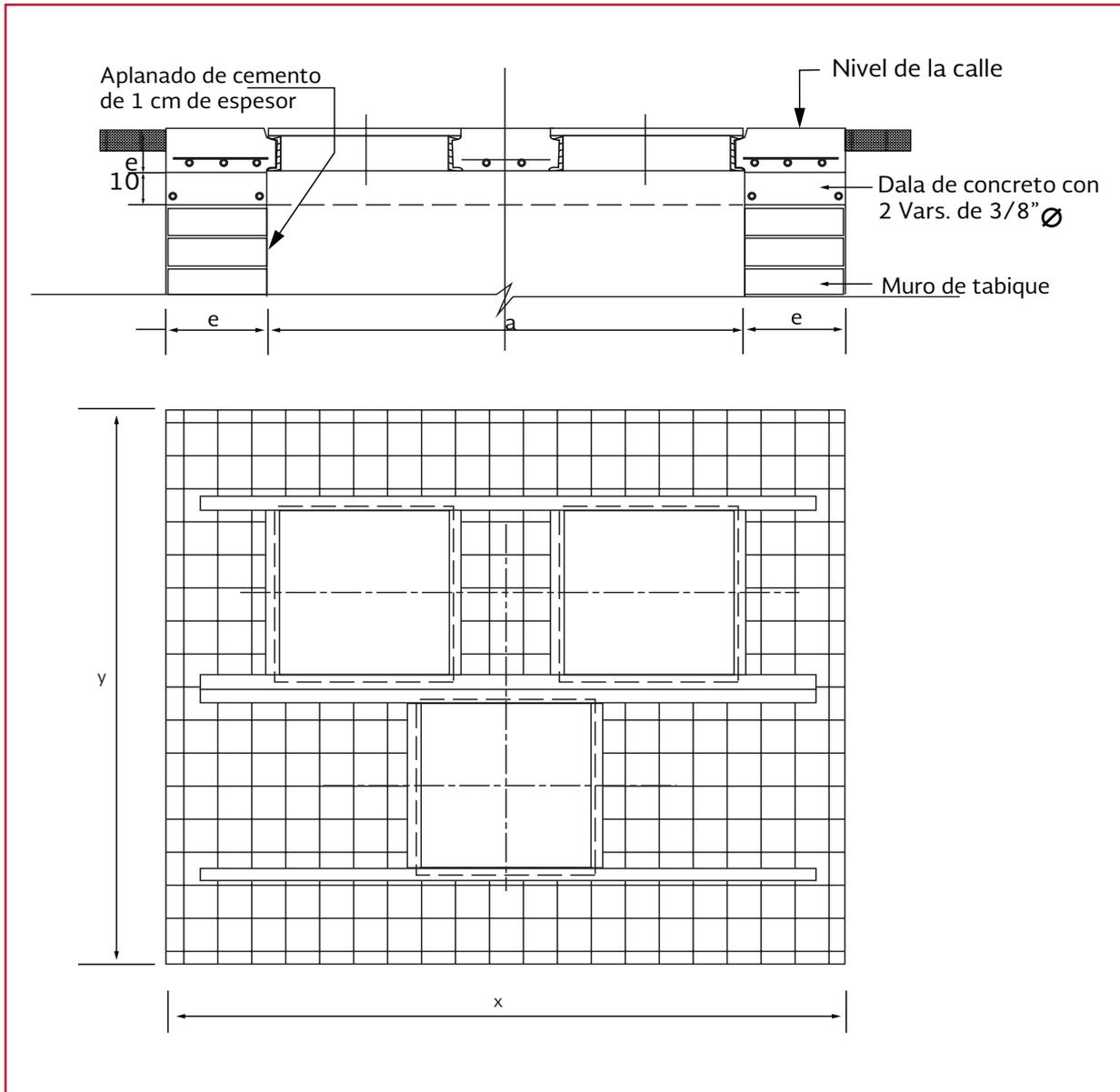
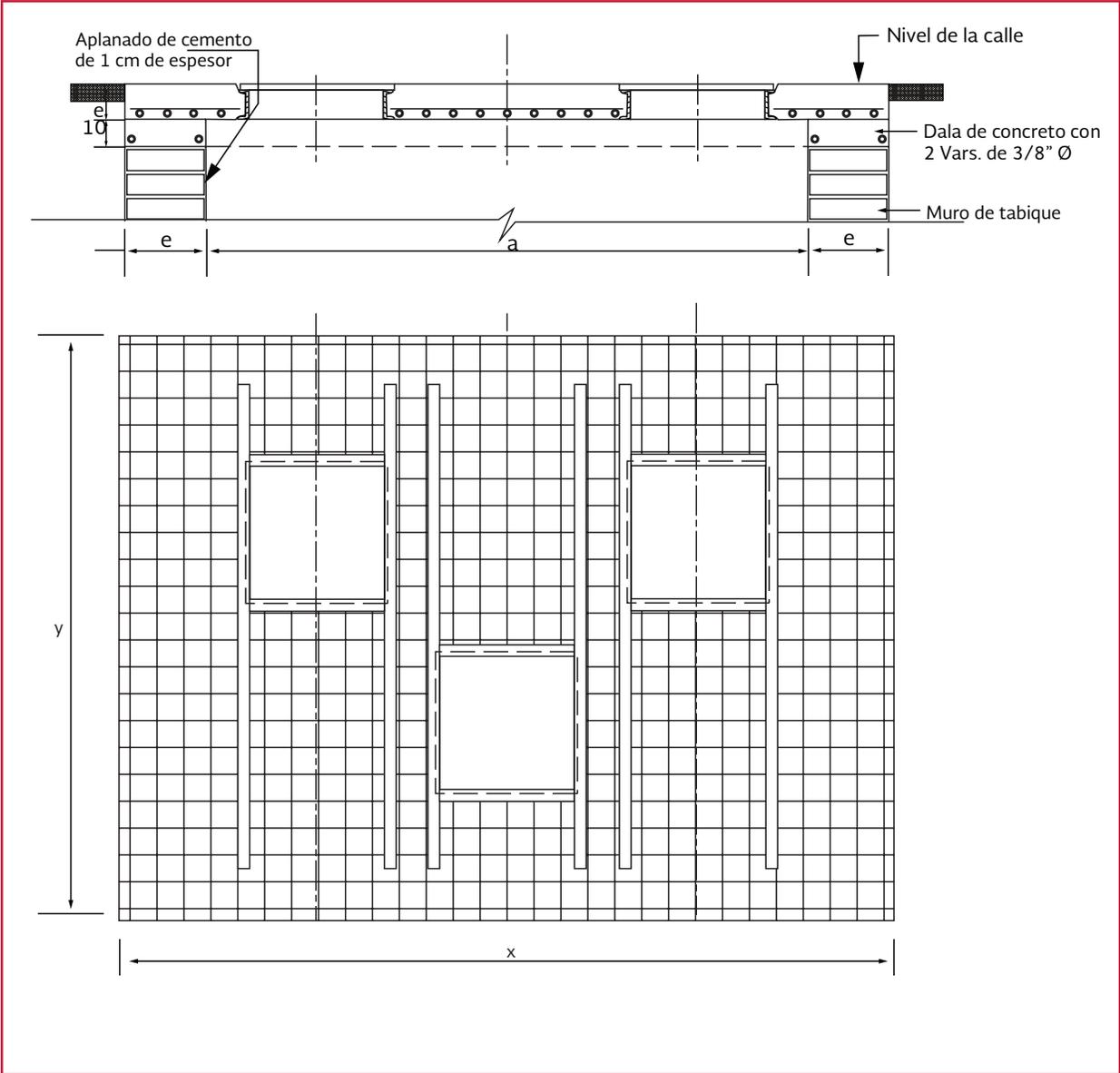


Ilustración 2.35 Caja tipo 13



2.5. HIDRANTES

Los hidrantes son conexiones especiales de la red que se ubican a cierta distancia, distribuidos en las calles. Existen dos tipos de hidrantes: públicos y contra incendio.

Los hidrantes públicos consisten en llaves comunes colocadas en pedestales de concreto o de mampostería, que pueden usarse como llaves comunitarias, pues pueden emplearlos varias familias dependiendo de su cercanía con el hidrante.

Generalmente se ubican, cuando es posible, a distancias menores de 200 m entre sí, aunque pueden localizarse a distancias hasta de 500 m en lugares no muy densamente poblados.

Los hidrantes públicos pueden tener una sola llave (hidrantes simples) o varias (hidrantes múltiples), y algunos disponen incluso de un pequeño almacenamiento. Es preferible que el hidrante simple no sea usado por más de 70 personas, aunque un hidrante múltiple puede dar servicio a 250 o hasta 300 personas.

Los hidrantes contra incendio son tomas especiales distribuidas en las calles a distancias relativamente cortas, de fácil acceso, con el fin de conectar mangueras para combatir incendios. Estos hidrantes son poco utilizados en México. La práctica más común es utilizar válvulas de desfogue dentro de los registros de las válvulas de seccionamiento, con el fin de inundar el registro y permitir que el cuerpo de bomberos extraiga agua durante el combate del incendio. En las construcciones importantes recientes se han instalado hidrantes contra incendio frente al predio, que en realidad forman parte de la instalación hidráulica de la misma edificación.

2.6. TANQUES

Los almacenamientos o tanques son utilizados en los sistemas de distribución de agua para asegurar la cantidad y la presión del agua disponible en la red. Según su construcción, pueden ser superficiales o elevados. Los superficiales se emplean cuando se dispone de terrenos elevados cerca de la zona de servicio.

Usualmente disponen de tubos separados de entrada (línea de conducción) y salida (línea de alimentación), o un solo tubo por donde el agua puede entrar y salir al almacenamiento (tanques elevados). En este último caso se dice que el almacenamiento es 'flotante' en el sistema, debido a que cuando el abastecimiento excede a la demanda, entra agua al almacenamiento y cuando la demanda rebasa al abastecimiento sale agua del almacenamiento (regulación).

En ambos tipos de almacenamiento se emplean válvulas de altitud, las cuales utilizan un flotador para determinar el nivel al cual deben cerrarse. Se dispone además de un rebosadero con drenaje, con la misma capacidad del abastecimiento al tanque, por donde el agua puede escapar en caso de una falla de la válvula. Para determinar la eficiencia del funcionamiento de los almacenamientos, se llevan registros del nivel del agua, ya sea por un observador o mediante dispositivos especiales.

Los tanques de distribución poseen un volumen determinado de almacenamiento de agua, el cual se compone de un volumen para regular, otro para almacenar (usado en caso de falla de la fuente o emergencias) y uno adicional para el combate contra incendios. Según la función del tanque que se considere prioritaria, el tanque puede ser de regulación o de almacenamiento.

Lo más común es emplear el tanque para regular (tanque de regulación), minimizando los volúmenes para almacenamiento y combate contra incendios.

Es conveniente recordar que la línea de conducción se diseña con el gasto máximo diario Q_{md} , mientras que la línea de alimentación y la propia red de distribución se diseñan con el gasto máximo horario Q_{mh} , en el día de máxima demanda. De esta forma, la red y la línea de alimentación conducen un mayor gasto durante las horas de mayor demanda, mientras que la línea de conducción conduce un gasto menor, pero el abastecimiento está asegurado por la existencia del tanque de regulación. Con estas disposiciones se tiene una mayor economía en la línea de conducción.

En un sistema de distribución conviene ubicar el almacenamiento en el centro de la zona de servicio para tener diámetros económicos en las tuberías de la red y mantener uniformidad en las presiones disponibles.

Un tanque de almacenamiento dispone de una capacidad para:

- a) Regular un abastecimiento constante de la fuente y la demanda variable de la zona de servicio. Esto permite a las bombas y plantas de tratamiento operar con gasto constante, elevar su eficiencia y reducir por consiguiente su capacidad. La capacidad de almacenamiento requerida se obtiene a partir de las fluctuaciones de la demanda horaria en el día de máxima demanda, así como del periodo de bombeo, y es calculada en forma tabular o gráfica
- b) Combatir incendios, la cual depende del tamaño de la población a servir
- c) Emergencias debidas a la falla de: la toma, la energía eléctrica, las instalaciones de conducción o de bombeo. Esta capacidad depende de la extensión de los daños y del tiempo de reparación, así como de la línea de conducción

La capacidad del almacenamiento es obtenida combinando razonablemente los tres propósitos anteriores. Puede darse el caso de un incendio fuerte en el día de máxima demanda y por consiguiente, se pueden combinar estas dos condiciones en el dimensionamiento del tanque. La capacidad necesaria para emergencias puede ser muy grande, por lo que no suele considerarse.

Por otra parte, los tanques de regulación permiten:

- a) Regular las presiones en la red y así reducir las fluctuaciones de presión debidas a las variaciones de la demanda. Esto provee un mejor servicio a los consumidores y la presión necesaria para combatir incendios
- b) Elevar la presión en puntos lejanos de los tanques de almacenamiento y estaciones de bombeo, así como mejorar el servicio durante periodos de demanda pico
- c) Regular la carga de las bombas. Cuando se colocan tanques de regulación cerca de las estaciones de bombeo, las cargas de bombeo son más uniformes. Esto influye en una mejor selección, operación y eficiencia de las bombas

La capacidad de este tipo de tanques es obtenida a partir de métodos gráficos.

2.6.1. CLASIFICACIÓN DE TANQUES

La selección del tipo de tanque depende del material disponible en la región de las condiciones topográficas y de la disponibilidad de terreno.

2.6.1.1 Tanques enterrados

Estos tanques se construyen bajo el nivel del suelo. Se emplean preferentemente cuando existe terreno con una cota adecuada para el funcionamiento de la red de distribución y de fácil excavación. Los tanques enterrados tienen como principal ventaja proteger el agua de las variaciones de temperatura y una perfecta adaptación al entorno. Tienen el inconveniente de requerir importantes excavaciones para el propio tanque, para todas sus instalaciones de conexión con la red de distribución y la línea de conducción; además se dificulta el control de filtraciones que puedan presentarse.

2.6.1.2 Tanques semienterrados

Los tanques semienterrados tienen parte de su estructura bajo el nivel del terreno y parte sobre el nivel del terreno. Se emplean generalmente cuando la altura topográfica respecto al punto de alimentación es suficiente y el terreno presente dificultad para excavación.

2.6.1.3 Tanques superficiales

Los tanques superficiales están contruidos sobre la superficie del terreno. La construcción de este tipo de tanques es común cuando el terreno es 'duro' o conviene no perder altura y se tiene la topografía adecuada. Los tanques superficiales se sitúan en una elevación natural

en la proximidad de la zona por servir, de manera que la diferencia de nivel del piso del tanque con respecto al punto más alto por abastecer sea de 15 m y la diferencia de altura entre el nivel del tanque en el nivel máximo de operación y el punto más bajo por abastecer sea de 50 m (Ilustración 2.36).

2.6.1.4 Tanques elevados

Los tanques elevados son aquellos cuya base está por encima del nivel del suelo y se sustenta a partir de una estructura. Generalmente son contruidos en localidades con topografía plana donde no se dispone en su proximidad de elevaciones naturales con altimetría apropiada. El tanque elevado refiere una estructura integral que consiste en el tanque, la torre y la tubería de alimentación y descarga (Ilustración 2.41).

Para tener un máximo beneficio, los tanques elevados, generalmente con torres de 10, 15 y 20 m de altura, se localizan cerca del centro de uso. En grandes áreas se colocan varios tanques en diversos puntos. La localización central decrece las pérdidas por fricción y permite equilibrar las presiones lo más posible.

Cuando el tanque elevado se localiza en la periferia de la población ocurre una pérdida de carga muy alta en el extremo opuesto, más lejano por servir. Así, prevalecen presiones mínimas en el extremo más alejado o presiones excesivas en el extremo más cercano al tanque.

Cuando el tanque se ubica en un sitio céntrico de la población o área por servir, las presiones son más uniformes tanto en los periodos de mínima como de máxima demanda. Un aspecto importante de los tanques elevados es el estético:

por su altitud son vistos desde puntos muy lejanos. No pueden darse reglas al respecto, salvo la de buscar su integración al entorno o paisaje.

2.6.2. ACCESORIOS DE LOS TANQUES

Para el diseño hidráulico de los accesorios de los tanques, como la entrada, la salida a la red, desagüe y vertedor de demasías, se recomienda lo siguiente:

2.6.2.1 Tanques superficiales

Entrada. El diámetro de la tubería de entrada corresponde en general al de la conducción. La descarga podrá ser por encima del espejo de agua (para tirantes pequeños), por un lado del tanque o por el fondo (para tirantes grandes). En cualquier caso, el proyectista debe tener especial cuidado en revisar y tomar las providencias necesarias para proteger la losa de fondo del efecto de impacto por la caída de agua y velocidades altas de flujo de entrada cuando haya niveles mínimos en el tanque.

Es conveniente analizar la colocación de una válvula de control de niveles máximos en la tubería de entrada al tanque; puede ser de tipo flotador o de altitud.

El gasto de diseño para la fontanería de entrada debe ser el gasto máximo diario, el máximo que proporcione la fuente de abastecimiento o el que indique la planeación general de las obras.

Dependiendo del arreglo funcional del tanque existen varias opciones para la llegada al tanque superficial:

- Por la parte superior. Este arreglo se presenta en la Ilustración 2.37, que indica su llegada con válvula de flotador, pero en algunos casos se utiliza únicamente la tubería (cuello de ganso)
- Por la parte inferior. Este diseño se utiliza cuando es la misma línea, tanto de llegada como de distribución, pero también se puede utilizar como llegada únicamente

Salida. La tubería de salida se puede alojar en una de las paredes del tanque o en la losa de fondo. En tanques que tienen una superficie suficientemente grande o tubería de salida de gran diámetro, resulta más conveniente que esté ubicada en el fondo del tanque, ya que en niveles bajos el gasto de extracción puede manejarse más eficientemente que en una salida lateral (ver Ilustración 2.38).

Para dar mantenimiento o hacer alguna reparación a los tanques de regulación, es

Ilustración 2.36 Tanque superficial, arreglo general de fontanería

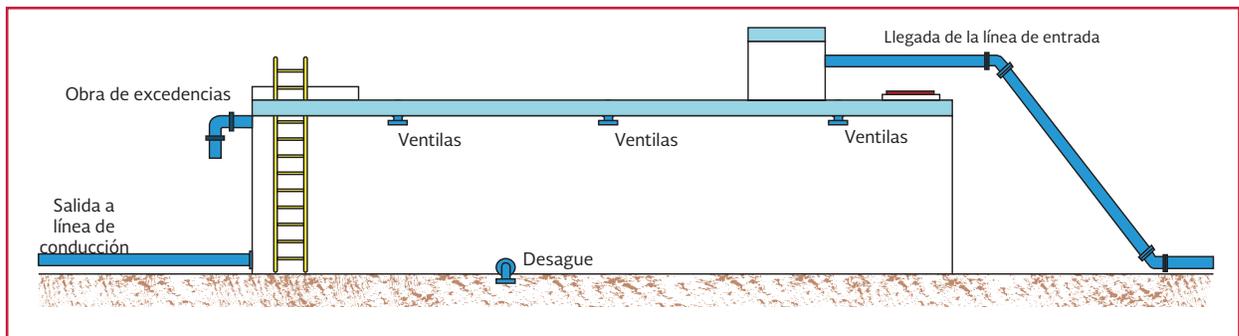


Tabla 2.10 Fontanería para la llegada de la Ilustración 2.37

No	Descripción	Unidad	Cant.	No	Descripción	Unidad	Cant.
1	Tubo de Acero con anillo de empotramiento con extremo biselado para soldar y el otro liso	pza.	1	10	Junta Dresser	pza.	1
2	Codo de acero en gajos de 90°	pza.	1	11	Válvula de compuerta	pza.	1
3	Tubo de Acero con extremo biselado para soldar y el otro bridado	pza.	1	12	Tubo de Acero con extremos biselados para soldar	pza.	1
4	Válvula de flotador automática bridada con válvula piloto	pza.	1	13	Macromedidor (medidor de gasto)	pza.	1
5	Codos de hierro galvanizado	pza.	1	14	Tubo de Acero con extremos biselados para soldar	pza.	1
6	Brida de acero	pza.	1	15	Reducción de acero con extremos biselados	pza.	1
7	Codo de acero en gajos de 60°	pza.	1	16	Tubo de Acero con extremo biselado para soldar y el otro liso	pza.	1
8	Tubo de Acero con extremo biselado para soldar y el otro bridado	pza.	1	17	Junta flexible tipo Gibault para la tubería de llegada	pza.	1
9	Tubo de Acero con extremo biselado para soldar y el otro liso	pza.	1				

Ilustración 2.37 Tanque superficial. Fontanería de llegada

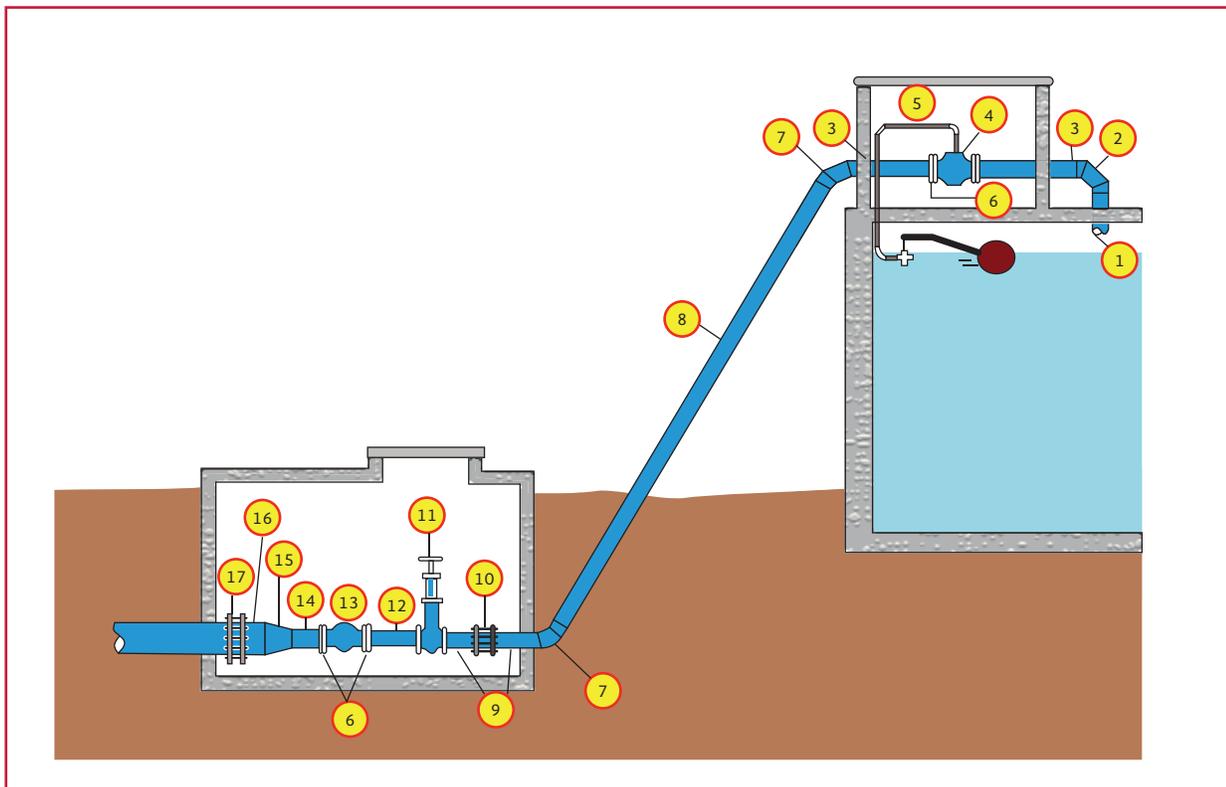
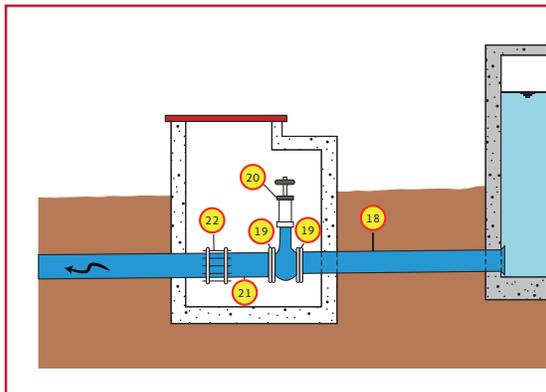


Ilustración 2.38 Fontanería de salida de la pared del tanque



No.	Descripción	Unidad	Cant.
18	Tubo de acero de con extremos biselados para soldar	pza.	1
19	Brida de acero	pza.	2
20	Válvula de seccionamiento tipo compuerta	pza.	1
21	Tubo de acero con un extremo biselado ara soldar el otro liso	pza.	1
22	Junta flexible tipo Gibault para unir tubería de salida con la línea de conducción	pza.	1

indispensable dotar a estas estructuras de un *bypass* entre la tubería de entrada y de salida, con sus correspondientes válvulas de seccionamiento.

Los medidores de gasto se instalarán preferentemente en las líneas de salida o en la línea de entrada. Deberá ponerse especial cuidado en las recomendaciones de los fabricantes respecto a las distancias aguas arriba y aguas abajo de los medidores, igualmente en que no haya interferencia o cambios de dirección de flujo. El gasto de diseño de la tubería de salida, será el gasto máximo horario o el que se indique en la planeación general de las obras.

Cajas rompedoras de presión: Dentro de las instalaciones del *bypass* y cuando la alimentación al tanque sea por gravedad, se instalará una caja rompedora de presión, para mantener la presión estática en las líneas de salida a la misma cota que la generada con los niveles dentro del tanque.

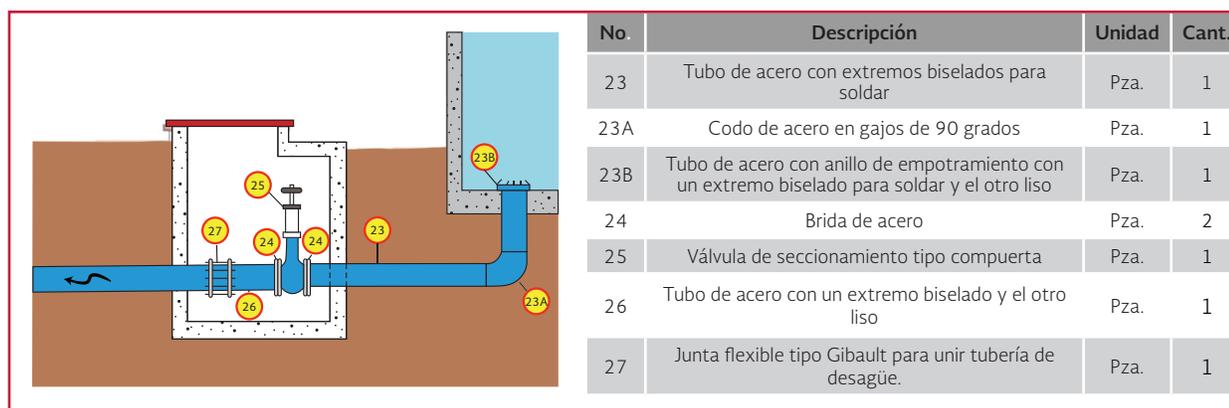
Esta caja puede eliminarse, si al revisar las condiciones de la tubería de salida y redes de distribución abastecidas por el tanque, se determina que estas pueden absorber

el incremento de presión estática. La caja rompedora debe incluir una obra de excedencias y de válvulas para controlar el flujo de entrada. Se recomienda instalar por lo menos una válvula de mariposa en la línea de entrada a la caja.

Desagüe de fondo. En caso de una fuga o reparación, los tanques se vaciarán a través de las líneas de salida que son las tuberías de mayor diámetro. El volumen último remanente se extraerá en función del tiempo requerido para la reparación del tanque. Generalmente se puede adoptar un tiempo de 2 a 4 horas para el vaciado de este remanente, aunque puede variar este lapso en función de las condiciones particulares de cada caso (ver Ilustración 2.39).

Tubería de demasías: La tubería de demasías se instala principalmente en forma vertical en el interior del depósito y adosada a las paredes del mismo. Con el propósito de impedir la entrada de roedores y animales en general. El tubo vertedor estará dotado en su parte inferior de una trampa hidráulica, que además proporciona un colchón amortiguador para efectos del impacto de caída del flujo de excedencias. En algunos casos se proyecta la instalación con salida horizontal y bajada a 60 grados (ver Ilustración 2.40).

Ilustración 2.39 Fontanería de salida con desagüe de fondo



Es conveniente unir las líneas de descarga de excedencias, desagüe de fondo y aguas pluviales para tener una descarga general.

Utilización del tanque como cárcamo de rebombeo

Cuando se utiliza el mismo tanque como cárcamo de rebombeo para distribuir, ya sea a otros tanques o redes, es conveniente que la tubería de llegada al tanque esté lo más retirada posible de la ubicación de los equipos de bombeo. Para evitar los vórtices (que pueden hacer cavitación a los equipos de bombeo), para eliminar las corrientes turbulentas y así mantener el fluido estable, se recomienda el uso de paredes (mamparas) y un acomodo adecuado de los equipos de bombeo. Se recomienda consultar

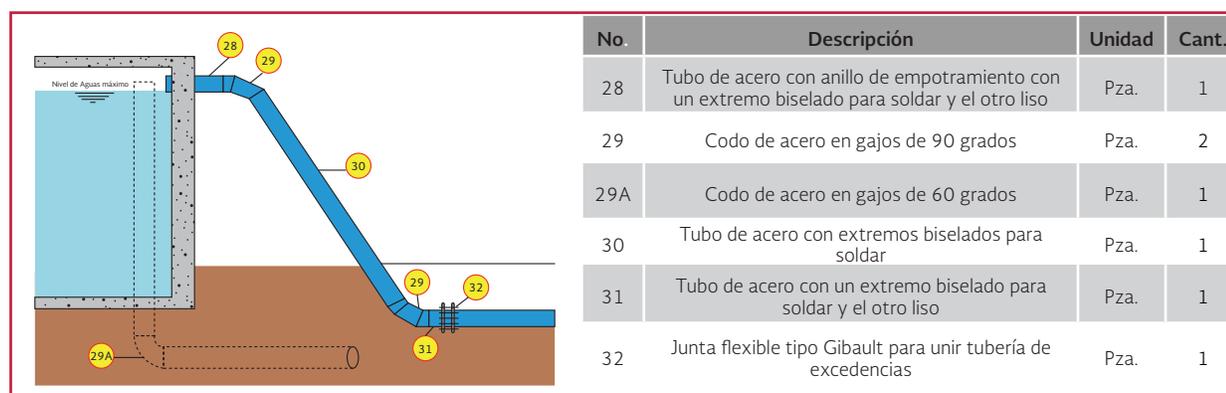
el capítulo 5 *Diseño de cárcamos de bombeo*, del libro *Diseño de Instalaciones mecánicas*, de MAPAS.

Utilización de válvulas de flotador o altitud a la entrada de los tanques

Cuando se quiera utilizar válvulas a la entrada de los tanques para mantener su nivel de llenado, es conveniente:

- a) Realizar una revisión de la línea de conducción (tubería, válvulas de admisión y expulsión de aire, etc), para evitar que en caso de un paro súbito por el cierre de la válvula en los tanques, se ponga en peligro la línea de conducción

Ilustración 2.40 Fontanería de salida con desagüe de fondo



- b) En caso de utilizarse se debe diseñar un sistema de control a fin de garantizar que, al llenarse el tanque, se envíe una señal para que los equipos de bombeo dejen de funcionar

2.6.2.2 Tanques elevados

Para el diseño de la entrada, salida, desagüe y demasías, se tomarán en cuenta las siguientes recomendaciones:

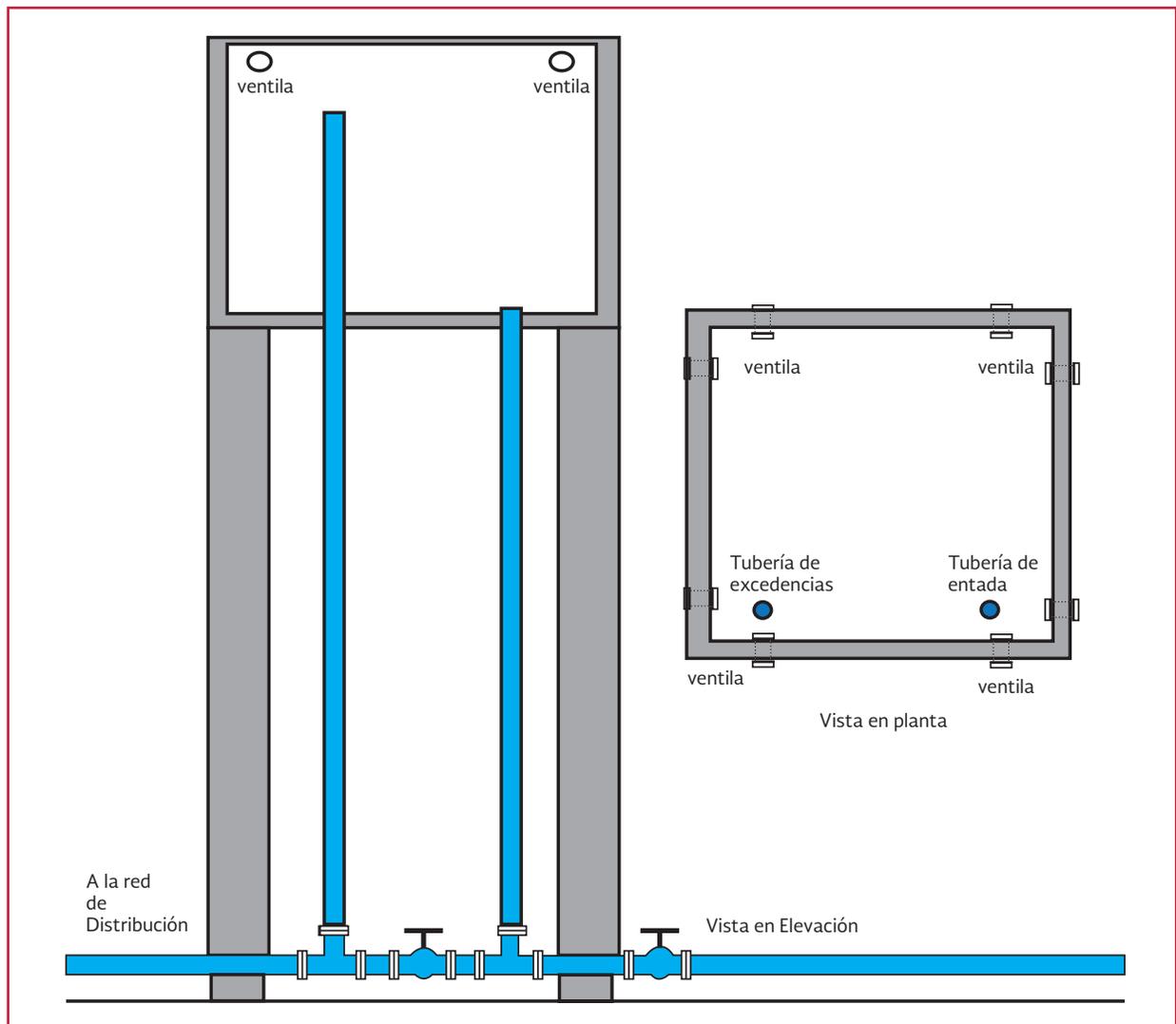
Entrada y salida. Para las funciones de llenado y vaciado de tanques elevados (de

Ilustración 2.41 Tanque elevado, arreglo general de fontanería

concreto y metálicos) generalmente se utiliza la misma tubería. Su diámetro, de preferencia, debe ser el de la alimentación a la red. Dicho conducto se aprovecha también para efectuar la limpieza del depósito, utilizando piezas especiales y válvulas de seccionamiento (ver Ilustración 2.41).

Para facilidad de operación y mantenimiento se recomienda que las fontanerías de entrada y salida queden alojadas en 'trincheras'.

La entrada en este tipo de tanque puede tener varios arreglos, entre los cuales destacan:



- a) Llegada y salida por la misma tubería. Este tipo de arreglos representa un ahorro en tubería. La llegada es por la parte inferior del tanque y sirve como amortiguador cuando se presenta una sobre presión (golpe de ariete). En caso de control se utilizarían electroniveles (Ilustración 2.42 e Ilustración 2.43)
- b) Llegada y salida por tubería independiente. En este arreglo se utiliza más tubería por tener líneas independientes. Se utiliza para tener carga constante en la distribución. Su control se puede hacer tanto con electroniveles como por válvulas de flotador

Tubería de demasías. Deberá asegurarse que no se tengan demasías, dado que representaría un desperdicio de agua cuyo bombeo representa un costo de operación. Esto se logra evitar usando

válvulas de flotador, electroniveles o de preferencia con válvulas de altitud. Como un requisito de seguridad es conveniente instalar un vertedor de demasías, constituido por una tubería situada en el interior del depósito, la que puede colocarse unida a una de las columnas de la torre del tanque. La ventilación a los tanques se proporciona por medio de tubos verticales u horizontales que atraviesan el techo o la pared. También puede hacerse por medio de aberturas con rejillas de acero instaladas en la periferia del tanque.

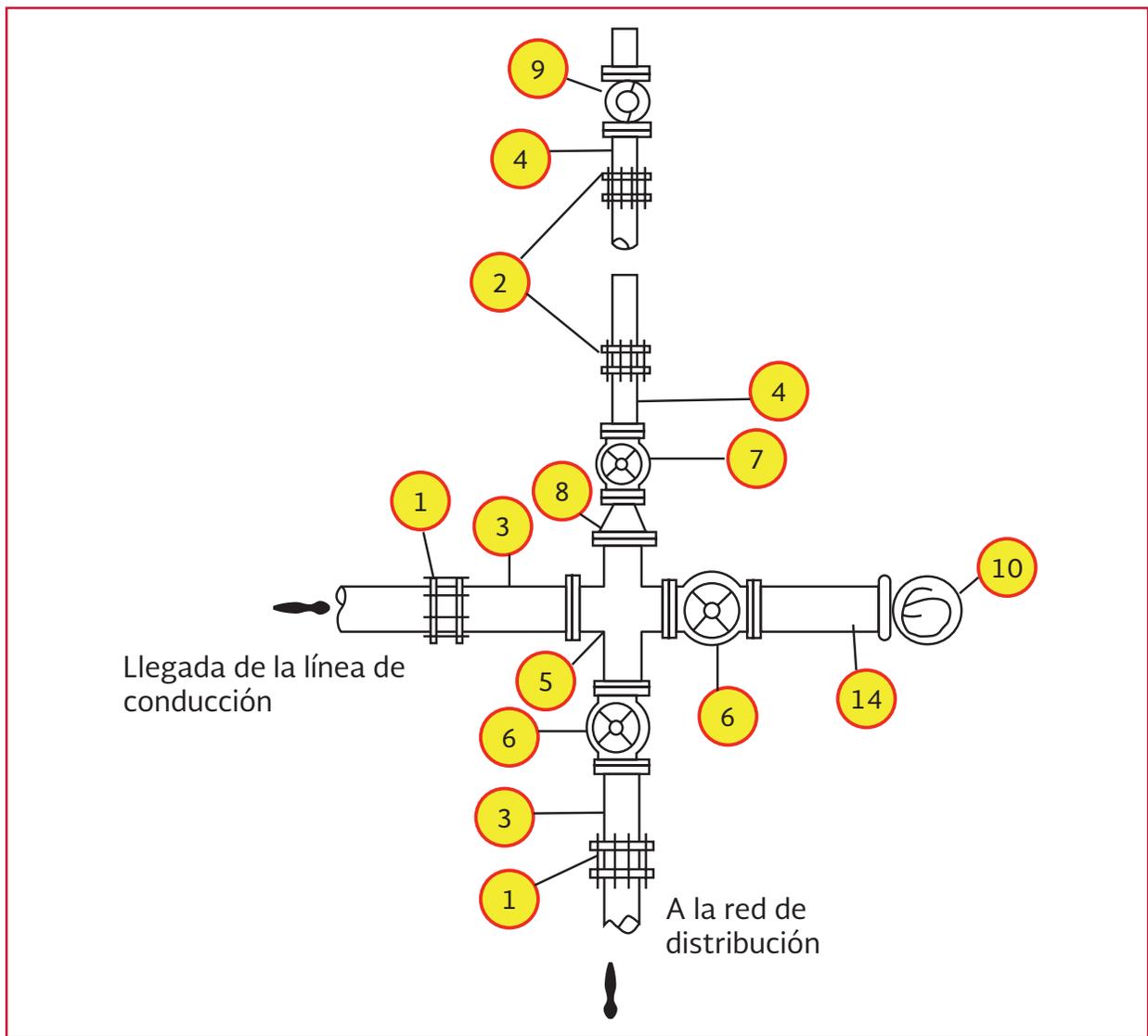
Para la limpieza del tanque se recomienda colocar un tubo de desagüe en el fondo. Esta tubería no debe conectarse al alcantarillado, sino que debe descargar libremente en un recipiente abierto desde una altura no menor de dos diámetros del tubo sobre la corona del recipiente y de ahí por gravedad descargar a un depósito.

Tabla 2.11 Fontanería para la llegada-salida de la Ilustración 2.42 e Ilustración 2.43

No	Descripción	Unidad	Cant.
1	Junta flexible tipo Gibault, para unir tubería de llegada	pza.	3
2	Junta flexible tipo Gibault para unir tubería de excedencias	pza.	3
3	Extremidad de fo.fo.	pza.	3
4	Extremidad de fo.fo.	pza.	3
5	Cruz de fo.fo.	pza.	1
6	Válvula de compuerta vástago ascendente, bridada, con interiores de bronce para agua	pza.	2
7	Válvula de compuerta vástago ascendente, bridada, con interiores de bronce para agua	pza.	1
8	Reducción de fo.fo.	pza.	1
9	Tee de fo.fo.	pza.	1
10	Codo de fo.fo. de 90 grados	pza.	1
11	Tubo de fo.go. liso en un extremo y con anillo de empotramiento soldado en el otro	m	15
12	Tubo de fo.fo. liso en los dos extremos y con anillo de empotramiento soldado.	m	20, 80
	Empaques de plomo	pza.	7
	Empaques de plomo	pza.	5
13	Tubo de fo.fo.	pza.	4
14	Tubo de fo.fo.	pza.	1

Nota: El diámetro, largo y número de piezas dependerán de los diámetros Ø1 y Ø2 seleccionados

Ilustración 2.42 Tanque elevado, arreglo de fontanería entrada-salida (Planta)



2.7. BOMBAS

Las bombas reciben la energía mecánica proveniente de un motor a través de la flecha con el fin de elevar la carga de presión del agua para conducirla en la tubería.

La gran mayoría de los sistemas de distribución y líneas de conducción de agua potable incorporan bombas en sus instalaciones para trasladar el agua a través del sistema o mantener presiones requeridas. Su aplicación específica permite:

- Elevar el agua desde fuentes superficiales o subterráneas a plantas de tratamiento, almacenamientos o directamente al sistema de distribución
- Incrementar la presión para servir áreas de servicio ascendentes (*booster*)
- Bombear químicos en unidades de tratamiento, transportar el agua en las instalaciones de tratamiento, retrolavado de filtros, desalojar tanques sedimentadores y remover sólidos depositados

bombeados) a diferentes temperaturas. Existen tantos diseños como aplicaciones y fabricantes, por lo que resulta difícil mencionarlos todos. Sin embargo, se pueden clasificar de acuerdo con el principio de su funcionamiento:

- a) De desplazamiento positivo
- b) Dinámicas o cambiadoras de impulso

Las bombas de desplazamiento positivo se basan en cambios de volumen para impulsar al fluido en su circulación; así, se llena una cámara a través de una cavidad, luego se sella y se empuja el fluido a través de otra cavidad. Su funcionamiento es pulsatorio. Su principal ventaja es el manejo de fluidos, independientemente de su viscosidad. Un buen ejemplo de este tipo de bomba es el corazón humano.

Las bombas dinámicas se diferencian de las anteriores en que no existe un volumen cerrado y que su funcionamiento se basa en transmitir un impulso o movimiento al fluido por medio de placas o álabes de rápido movimiento, agrupados en un impulsor. El fluido incrementa su impulso o cantidad de movimiento mientras se mueve a través de los pasajes abiertos y convierte su alta velocidad en presión al salir de la sección del impulsor. Este tipo de bombas generalmente provee mayores gastos que las de desplazamiento positivo, con mayor uniformidad, pero son poco efectivas con líquidos de alta viscosidad. Necesitan además del 'cebado', que consiste en llenar la cavidad del impulsor con el líquido a conducir, pues si contiene aire no pueden succionar el líquido de su entrada. Por esta razón, existen bombas 'autocebantes', equipadas con un dispositivo que evita que la cámara del impulsor se vacíe (aun así, deben cebarse necesariamente en su instalación). Cabe aclarar que las bombas

de desplazamiento positivo son autocebantes para la mayoría de sus aplicaciones.

Una bomba dinámica o centrífuga puede proveer altos gastos (cerca de 100 L/s), con baja carga de presión (hasta 100 metros o 0.98 MPa); en cambio, una bomba de desplazamiento positivo puede operar a altas cargas de presión (3 000 metros o 29.4 MPa), pero con gastos bajos (6 L/s).

Las bombas se pueden clasificar, de acuerdo con el mecanismo o diseño mecánico, en:

- 1) De desplazamiento positivo
 - a. Alternativas: de pistón o émbolo (a veces denominadas de martinete) y de diafragma
 - b. Rotativas: rotativa de pistones, engranajes externos, engranajes internos, rotor lobular, paletas (deslizantes, servicio pesado, oscilantes, excéntrica-paleta, rodillo-paleta y flexible) y husillo (simple o de estator flexible y rígidas)
- 2) Dinámicas o cambiadoras de impulso
 - a. Rotodinámicas: de flujo radial (centrífuga), axial y mixto

Existen bombas de fabricación especial para diversas aplicaciones. Estas funcionan mediante alguno de los dos principios antes mencionados u otro especial. Ejemplos de estas bombas son: bombas alimentadoras de calderas en centrales termoeléctricas; de condensado; de pozo profundo o sondeo, accionadas por eje, sumergibles (de motor seco o húmedo), helicoidales, eyectoras (combinadas con una centrífuga) y de elevación por aire comprimido; tornillo de Arquímedes; químicas; de proceso; medidoras, dosificadoras o proporcionales;

de ariete hidráulico; neumática o de aire comprimido; periestálticas; de diafragma tubular; de anillo líquido; de accionamiento a mano, alternativas o impelentes; semirrotativas, de diafragma, rotativas y periestálticas. También existen para servicios especiales como: bombeo de diversos fluidos incluyendo metales fundidos (bombas electromagnéticas y especiales), así como sólidos y semisólidos bombeables; también para el dragado y contra incendio.

Los tipos de bombas mencionados pueden a su vez clasificarse de acuerdo con su configuración geométrica, número de células de bombeo (cavidades o rotores) y otros factores.

Las bombas comúnmente empleadas en abastecimiento de agua potable son las denominadas 'rotodinámicas', mal llamadas 'centrífugas', ya que solo la de flujo radial es centrífuga pura. En el siguiente capítulo se analizan sus principales características. Este tipo de bombas se clasifican según la dirección de salida del flujo, es decir: de flujo radial, axial y mixto.

2.8. POZOS

El agua subterránea constituye un recurso importante en el abastecimiento de agua potable. En general, el agua extraída del subsuelo no requiere tratamiento y su captación resulta más económica que en embalses. Además, las cantidades de agua disponible son más seguras y prácticamente no les afectan las sequías. Los métodos modernos de estudio de los acuíferos permiten determinar un aprovechamiento racional y prolongado del agua subterránea, aunque en ciertos casos de

sobreexplotación de acuíferos puede requerirse una recarga artificial para evitar hundimientos o la contaminación de los acuíferos.

Para aprovechar el agua subterránea se construyen pozos, los cuales son excavaciones o perforaciones verticales, normalmente hechas por el hombre, por las cuales el agua subterránea puede brotar o ser extraída del subsuelo. En el capítulo siguiente se abordan con mayor profundidad los temas relativos a bombas y pozos por ser estos constituyentes fundamentales en la mayoría de los sistemas de distribución de agua potable.

2.9. TOMAS DOMICILIARIAS

La toma domiciliaria tiene como función el proporcionar agua de la red de distribución para conducirla a la instalación hidráulica intradomiciliaria. Se divide en dos partes: ramal y cuadro. Se le llama ramal a la conexión que abarca desde el acoplamiento a la red de distribución hasta el codo inferior del cuadro. El cuadro es propiamente el conjunto de tubos y codos que forman una figura rectangular con el objeto de alojar un medidor y que sea cómoda su lectura. El cuadro se encuentra generalmente dentro del domicilio del usuario.

Los diámetros usuales de toma domiciliaria pueden ser de 13 o 19 mm. En el mercado existen gran cantidad de piezas y disposiciones de diferentes materiales para enlazar la red de distribución con la tubería intradomiciliaria. Algunos fabricantes de tubería recomiendan cierto tipo de instalación y materiales de la toma domiciliaria para tener un mejor servicio.

En general, las tomas domiciliarias se pueden clasificar como metálicas o combinadas. En las primeras, la tubería del ramal y del cuadro son metálicas; en las segundas, el ramal es de material plástico. Las tomas domiciliarias metálicas se instalan con cobre flexible en el ramal y rígido en el cuadro o de cobre flexible en el ramal y hierro galvanizado en el cuadro. Por otra parte, la toma domiciliaria combinada emplea polietileno de alta densidad (PEAD) en el ramal y cobre rígido o hierro galvanizado en el cuadro.

2.9.1. COMPONENTES

Una toma domiciliaria da inicio en el acoplamiento con la tubería de la red y concluye en el codo inferior del primer tubo vertical del cuadro. Para su instalación, conexión y operación esta parte de la toma domiciliaria está conformada por las piezas que a continuación se describen.

Abrazadera

Corresponde a la pieza que se coloca en la tubería de distribución, proporcionando el medio de sujeción adecuado para recibir al insertor (llave de inserción o adaptador).

Su selección depende del tipo de material empleado en la red de distribución y en el ramal. Se emplean abrazaderas en redes de policloruro de vinilo (PVC), asbesto cemento y fierro fundido (fo.fo.). Para el caso de redes de polietileno de alta densidad (PEAD), se utiliza silletas con sistema de unión por termofusión.

Los materiales más utilizados en las abrazaderas son el fierro fundido y el PVC. Sus características y forma de instalación se describen en la

sección de procedimientos de este manual. En el mercado se cuenta también con abrazaderas de bronce y acero inoxidable.

La abrazadera es la parte de la toma domiciliaria que hace hermética la perforación de la tubería de la red y, mediante una salida llamada derivación, permite la interconexión con la tubería del ramal.

Para abrazaderas e insertores se pueden tener dos tipos de cuerdas: el cónico (AWWA o Müeller) y el tipo semirecto (NPT). Es necesario asegurar que se utilicen elementos con un mismo tipo de cuerda en la interconexión de abrazaderas con insertores. Por ningún motivo se debe utilizar diferentes tipos de cuerdas. Cuando el elemento de cierre de la abrazadera sea a base de tornillos, hay que cuidar que tengan tratamiento anticorrosivo y así evitar una posible falla en el punto de acoplamiento. Corresponde a la parte del ramal la función de absorber un posible desplazamiento diferencial del terreno entre la red de distribución y la toma domiciliaria, para lo cual se realiza una deflexión a la tubería flexible, conocida como 'cuello de ganso' durante su instalación (ilustración 2.44). El material que se debe utilizar puede ser cobre flexible (Tipo L) o PEAD.

Cuando se realice una interconexión de diferentes materiales metálicos, es necesario considerar las observaciones que se hacen sobre corrosión en el libro de conducciones.

Llave de banqueta

Es un elemento fabricado generalmente con bronce, el cual permite el corte del flujo o cierre de la toma, para realizar reparaciones o limitar el servicio, sin necesidad de excavar el terreno

del lugar en donde se encuentra la toma, ya que se tiene acceso desde el exterior a través de la caja de banqueta.

Sus elementos de conexión varían dependiendo de los diferentes tipos de tubería que se utilicen en el ramal de la toma.

La unión de una llave de banqueta con la tubería de PEAD se debe realizar mediante un conector que funcione a base del sistema de compresión.

Tubería rígida

Este elemento se localiza entre la llave de banqueta y el codo inferior del vertical, el material que se utiliza es cobre rígido (Tipo M) o fo.fo. Su instalación es opcional, ya que se puede continuar con la tubería flexible.

Codo inferior del cuadro

Tiene como función unir la tubería del ramal con el cuadro de la toma, dependiendo de los materiales de la toma, el codo puede ser de fo.go., cobre o bronce.

Conectores y niples

Son generalmente de bronce o PVC, permiten la unión entre las piezas que integran el ramal; se utilizan principalmente para la unión de la tubería con el insertor, la llave de banqueta y el codo que une el ramal con el cuadro.

Cuadro

Es la parte de la toma domiciliaria que permite la instalación del medidor, la válvula de globo y la llave de manguera. El tipo de material con que se forma el cuadro es fo.fo. o cobre rígido, tipo M.

(Ilustración 2.44) Las dimensiones promedio son: 0.60 m de altura a partir del nivel del piso, lo cual permite tomar las lecturas de medidor, y 0.50 m de largo, aproximadamente, para colocar el medidor y los accesorios que se requieran.

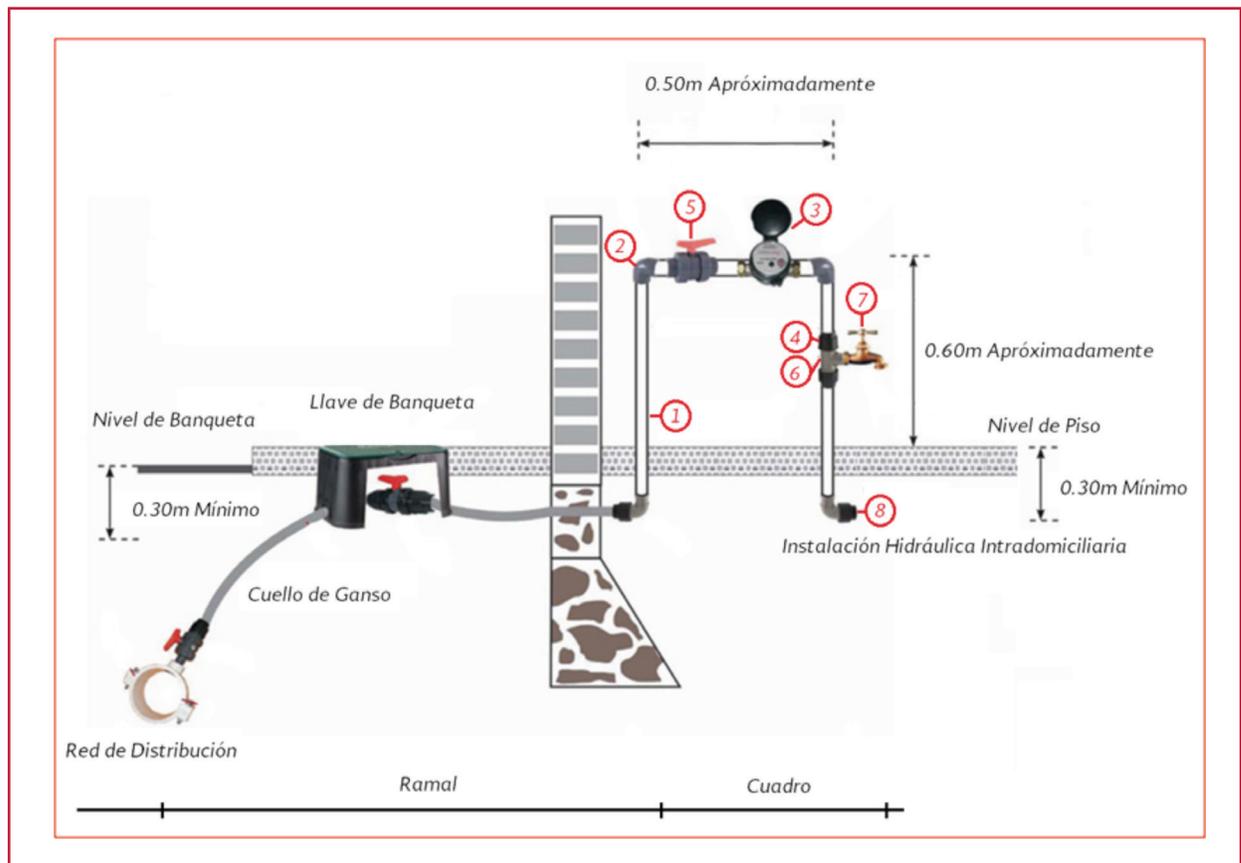
Es conveniente mencionar que las dimensiones señaladas para el cuadro son las usadas tradicionalmente, pero cada organismo operador podrá modificar la geometría o dimensiones con el fin de obtener los mejores resultados, considerando las condiciones que se presentan para su instalación y de la experiencia obtenida en la instalación del cuadro que el propio organismo tenga.

En zonas de la República Mexicana donde se presentan bajas temperaturas y llega a congelarse el agua en las tomas, queda a criterio del organismo operador instalar la tubería del ramal a mayor profundidad, así como colocar el medidor en una caja de registro en lugar del cuadro, con el fin de prevenir posibles fallas. En caso de que el cuadro sea tradicional y se tengan bajas temperaturas, es necesario forrar el cuadro con papel aluminio o algún material plástico.

El cuadro está formado por las partes siguientes (Ilustración 2.44):

- 1 Tubos rígidos colocados en posición horizontal y vertical de fo.fo o cobre tipo M
- 2 Codos de bronce, cobre o fo.fo.
- 3 Medidor. Su selección depende básicamente de tres aspectos: calidad del agua, régimen de operación del sistema y del consumo por registrar
- 4 Adaptadores. Sirven para ajustar, cuando se requiera, las dimensiones del cuadro o de la conexión temporal, cuando la instalación del medidor se posponga

Ilustración 2.44 Toma domiciliaria tipo



- 5 Válvula de globo. Sirve para interrumpir el flujo del agua cuando se efectúa una reparación en el cuadro de la toma. Se instala antes del medidor si el cuadro no cuenta con llave de banquetta; en caso contrario, se instala después del mismo
- 6 'Tee' para derivar el agua hacia la llave de manguera
- 7 Llave de manguera. Es la primera llave de uso para el propietario del inmueble. Además sirve para tomar muestras de agua para verificar su calidad, probar el funcionamiento del medidor y medir la presión disponible en la toma
8. Tapón al final de la toma. Se utiliza en forma provisional para el cierre de la toma al final del cuadro y se elimina cuando la toma domiciliaria

se conecta a la instalación hidráulica intradomiciliaria

2.9.2. TOMAS ESPECIALES

Para nuevos fraccionamientos o en el caso que se construya o sustituya una red de distribución, se puede instalar una toma domiciliaria dúplex, para así reducir costos de instalación y mantenimiento.

Una toma dúplex consiste en utilizar un ramal para abastecer a dos predios contiguos; para este caso, el diámetro del ramal debe ser de 19 mm (3/4 "), se coloca una 'tee' o una 'yee' con los accesorios requeridos para tener dos salidas de 13 mm (1/2 "); posteriormente se coloca una llave de banquetta en cada salida (en caso de que

proceda) y se realiza la unión de cada salida con el cuadro correspondiente.

Este tipo de instalación ofrece las siguientes ventajas y desventajas:

a) Ventajas:

- Reduce los costos de instalación y mantenimiento
- Se realiza menor número de perforaciones a la línea de distribución para derivar el servicio

b) Desventajas:

- En el caso de una falla (antes de la válvula de globo) se interrumpe el servicio a los usuarios
- Si en las dos tomas derivadas mediante este sistema se hace uso del servicio simultáneamente, disminuye la presión del servicio
- Se dificulta la localización de fugas en este tipo de instalaciones, cuando se emplea el método de amplificación del sonido de la fuga, debido a que existe flujo de agua en las dos derivaciones del ramal, y la distancia de separación que existe entre una y otra es pequeña, lo cual provoca interferencia en la identificación del sonido de fuga

Para conjuntos habitacionales en condominios (hasta 60 viviendas), las tomas de agua son especiales, ya que se considera al conjunto habitacional como un solo usuario, lo cual modifica el diseño y tipo de la toma respecto a las convencionales:

- El diámetro de la toma puede ser de 1 " a 2 1/2", dependiendo del caudal a conducir y de la presión disponible en la red

- Cuenta con caja de medición con los siguientes elementos:
- Válvula de control
- Medidor
- Junta flexible o tuerca unión para mantenimiento

Para la instalación del medidor en este tipo de tomas, se dan las siguientes recomendaciones:

- a) El medidor debe quedar en un tramo de tubería recta (con longitud mínima de cinco veces su diámetro agua arriba y dos aguas abajo más el espacio del medidor), libre de piezas especiales, cambio de diámetro o de dirección. En el caso de contar con espacio suficiente, se recomienda tener un tramo recto de 10 diámetros antes del medidor y 5 después de éste. Para los casos intermedios, la relación de distancias rectas y después del medidor será de dos a uno
- b) La tubería donde se instale el medidor deberá operar a tubo lleno
- c) Se debe verificar que en el sitio donde se encuentra el medidor no se presente reflujos
- d) El medidor debe quedar colocado en un lugar accesible para efectuar las lecturas y facilitar las tareas de mantenimiento del mismo
- e) Verificar periódicamente la exactitud con que el medidor está registrando el volumen de agua que por el mismo circula; se recomienda instalar piezas especiales que permitan realizar esta tarea mediante algún instrumento de medición.

La caja de medición deberá tener las dimensiones mínimas necesarias para una buena operación y manejo de los instrumentos de medición. (Ilustración 2.45).

2.9.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Con base en la evaluación de algunos parámetros propios de la zona donde se instalará la toma, se determina el tipo de material que presente las condiciones más favorables para su instalación. A continuación se describen los criterios para hacer la selección.

- 1 Parámetros que determinan la agresividad de un suelo:
 - Resistividad (< 1 000 ohm cm)
 - pH (menor de 6.5)
 - Humedad (promedio anual)

Los valores de los parámetros indican las condiciones más críticas que un suelo puede presentar conducentes a la corrosión externa en una toma de componentes metálicos. El parámetro más significativo es la resistividad

del suelo, que varía con la humedad. Si el lugar donde se encuentra o se hará la instalación de la toma presenta una resistividad menor a 1000 ohm cm y el material es metálico, se recomienda protegerlo cubriendo el ramal de la toma con una capa de material seleccionado (arena, petatillo, tezontle) de 20 cm de espesor (previa instalación de plantilla), libre de piedras o raíces; o bien, encamisar la tubería con manguera y sellar perfectamente sus extremos.

- 2 Condiciones hidráulicas de funcionamiento:
 - Presión interna
 - Operación de válvulas

El volumen de fuga se incrementa en zonas de alta presión, por lo cual, la presión de trabajo debe ser menor a 0.49 MPa (5 kg/cm² o 50 m).

Ilustración 2.45 Ejemplo de tomas dúplex



3 La selección del tipo de material de una tubería para toma domiciliaria debe considerar:

- Alta resistencia mecánica contra:
 - Congelación
 - Fuerzas externas
 - Vibraciones y fatiga
 - Presión hidráulica interna
- Capacidad de flujo
 - Conexiones y accesorios
 - Flexibilidad
 - Métodos y costos de instalación

Existen varias alternativas de instalación de una toma domiciliaria, pero el tipo y el número de componentes están determinados por la zona en la que se realizará la instalación: urbana o rural.

En la Tabla 2.12 y la Tabla 2.13 se presentan los componentes de una toma para zona urbana y rural, respectivamente.

Cuando no se utilice la llave de banqueta en el ramal, esta puede colocarse en el cuadro de la toma antes del medidor, para que de esta manera cumpla con la función de elemento de cierre, para limitar el flujo de agua y dar mantenimiento al medidor.

Para ampliar lo anteriormente descrito, en la Tabla 2.14 y la Tabla 2.15 se presentan los componentes de una toma, incluyendo los materiales de que puede estar hecha, la descripción específica de su uso y la Norma que fundamenta su fabricación.

Tabla 2.12 Componentes de una toma domiciliaria para zona urbana

Ramal	Descripción
Abrazadera o silleta	Tramos de tubería rígida colocados en posición horizontal y vertical
Insertor	
Válvula de inserción (*)	Codos de 90°
Tubería flexible	Medidor (*)
Llave de banqueta (*)	Adaptadores
Caja de llave de banqueta(*)	Válvula de globo
Tubería rígida	Tee (o rincón)
Codo inferior del vertical	Llave de manguera
Conectores y niples	Tapón al final de la toma

(*) Estas piezas son opcionales y su uso queda a criterio del organismo operador

Tabla 2.13 Componentes de una toma domiciliaria para zona rural

Ramal	Descripción
Abrazadera o silleta	Tramos de tubería rígida colocados en posición horizontal y vertical
Insertor	
Tubería flexible	Codos de 90°
Tubería rígida	Medidor (*)
Codo inferior del vertical	Adaptadores
Conectores y niples	Válvula de globo
	Tee (o rincón)
	Llave de manguera
	Tapón al final de la toma

(*) Estas piezas son opcionales y su uso queda a criterio del organismo operador

Pueden realizarse diferentes combinaciones de los componentes de una toma domiciliar con

varios tipos de materiales y obtener diferentes diseños de las mismas.

Tabla 2.14 Elementos del ramal de toma para agua potable

No	Elemento	Material	Especificación	Norma
1	Abrazadera	bronce	Abrazadera para tubo de ac	ASTM-B-30
		fo.fo.	Abrazadera para tubo de ac	NIVIX-13-008
		PVC	Abrazadera para tubo de PVC	NMX-E-191
		PEAD	Silleta para tubo de pead	-----
2	Insertor	bronce	Válvula de inserción con cuerda tipo awwa	ASTM-B-30
		bronce	Válvula de inserción FLARE o compresión con empaque de buna N	ASTM-B-30
		PVC	Adaptador de inserción con cuerda NPT	NMX-E-1 92
		PVC	Válvula de inserción con cuerda tipo NPT	NMX-E-207
3	Tubo flexible	cobre	Flexible (tipo I)	NMX-W-18
		PEAD		NMX-E-146
4	Válvula de banqueta	bronce	Para cobre	ASTM-B-30
			De PEAD a fo.fo.	ASTM-B-30
		PVC	Para PEAD	NMX-E-207
5	Tubo rígido	cobre	Rígido (tipo M)	NMX-W-18
		fo.fo.	Con cuerda exterior	NMX-B-177
6	Codo inferior del vertical	bronce	Soldable	ASTM-B-30
		cobre	Soldable	NMX-W-101
		fo.fo.	Con cuerda interior	NMX-B-177
7	Conectores	bronce	De compresión	
		plástico	De compresión	NMX-E-192
		fo.fo.	Cuerda exterior	NMX-B-214

Tabla 2.15 Elementos del cuadro de toma para agua potable

No	Elemento	Material	Especificación	Norma
4	Válvula de banqueta	bronce	Para cobre	ASTIV-B-30
			De PEAD a fo.fo.	ASTM-B-30
		PVC	Para PEAD	NMX-E-207
8, 11 y 15	Tubo rígido del cuadro	cobre	Rígido (tipo 'M')	NMX-W-18
		fo.fo.	Con cuerda exterior	NMX-B-177
9	Codos	cobre	Soldable	NMX-W-101
		fo.fo.	Cuerda interior	NMX-B-214
10	Medidor			NOM-012-SCFI
12	Válvula de globo	bronce	Soldable	ASTM-B-30
			Cuerda interior	ASTM-B-30
13	Tee	cobre	Cobre a cobre a cuerda interior	NMX-W-101
		fo.fo.	Con cuerda interior	NMX-B-214
14	Llave de manguera	bronce	Con cuerda exterior	ASTM-B-30
16	Tapón	cobre	Hembra	NNIX-W-101
		fo.fo.	Cuerda exterior	NMX-B-214

2.9.4. INSTALACIÓN DE TOMA DOMICILIARIA

De la tubería de distribución puede derivarse la toma domiciliaria directamente, con abrazadera o silletas. Los diámetros máximos de derivación que se consideran aconsejables, por diámetro de la tubería y la forma de instalarse, se presentan, en la Tabla 2.16.

Derivación directa

Es la que se hace conectando el insertor o la válvula de inserción en una perforación con cuerda hecha a la tubería (Ilustración 2.46a).

Derivación con abrazadera

El uso de abrazadera (Ilustración 2.46b), permite derivaciones de mayor diámetro en comparación con las derivaciones directas. Pueden instalarse con la tubería vacía o trabajando a presión; en el primer caso se perfora la tubería antes

de colocarse la abrazadera usando un taladro común o berbiquí con la broca adecuada para cada tipo de material; en el segundo caso, con la abrazadera y la válvula de inserción colocadas y perforando a través de ella, cuidando que el diámetro de la broca sea igual al interior de la inserción.

Derivación por termofusión

Las derivaciones en tubería de PEAD, se lleva a cabo por medio de una silleta; la unión entre esta y la tubería se realiza calentando la superficie de estos dos componentes, hasta alcanzar el grado de fusión y después mediante una presión controlada sobre ambos elementos se logra una unión monolítica. Para hacer una transición entre el polietileno y otro tipo de material se dispone de uniones mecánicas y adaptadores del sistema de compresión. En la sección de procedimientos se describe el sistema de unión para tubería de PEAD (Ilustración 2.46c).

Tabla 2.16 Diámetros máximos recomendados de derivación

Diámetro nominal de la tubería principal	Directa	Abrazadera
38 - 75 mm	No recomendable	19 mm
100 mm	No recomendable	25 mm
150 mm	13 mm	25 mm
200- 250 mm	19 mm	25 mm
Mayores	25 mm	38 mm

Ilustración 2.46 Tipos de derivaciones para toma domiciliaria



2.10. PRUEBA DE HERMETICIDAD

La norma oficial mexicana NOM-001-CONAGUA establece las especificaciones mínimas de desempeño para los productos que integran los sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario, para asegurar la hermeticidad de éstos a largo plazo.

En dicha norma además se establecen las condiciones de operación y mantenimiento que garantizan una adecuada vida útil de los elementos a los que hace referencia.

De acuerdo con esta norma, todos los productos con los que se construyen los sistemas de agua potable y toma domiciliarias, deben estar certificados ante un organismo de certificación de producto en los términos que estipula la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento, y cumplir con las especificaciones establecidas en las normas mexicanas correspondientes, cuando tales normas mexicanas hayan tomado como base las normas internacionales, en caso contrario, deberán cumplir con las normas internacionales correspondientes (como las especificadas en la Tabla 2.14 y la Ta-

bla 2.15).

Entre los criterios establecidos, la instalación de los sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario deben instalarse de tal modo que se asegure su hermeticidad.

Para lograr este objetivo el organismo operador deberá contar con lo siguiente:

- Personal calificado para realizar las labores de instalación y mantenimiento
- Evidencias que demuestren que la instalación se realizó conforme a planos aprobados
- Certificados de los elementos seleccionados
- Uso de herramientas apropiadas

Los elementos necesarios y los procedimientos a realizar las pruebas de hermeticidad se describen a detalle en la norma, los cuales son de carácter obligatorio tanto para fabricantes como los responsables del diseño, construcción, instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario.



3

ANÁLISIS HIDRÁULICO

La tubería permite transportar un fluido de un lugar a otro. Al punto o sección transversal de la tubería donde se extrae el fluido o donde se conecta con otra, se le llama nodo. En los estudios de redes de tubería, se considera que una tubería es un conducto cerrado de cierta longitud. Cada una de las secciones transversales de sus extremos está asociada a un nodo.

Para evaluar el funcionamiento hidráulico de una red de distribución en la que se conocen los diámetros, longitudes y coeficientes de fricción; se requiere determinar las cargas de presión en los nodos que posee y los gastos que fluyen en los tubos que la componen.

Cuando la operación de la red es a presión y los gastos que circulan en sus conducciones no cambian con el tiempo, se tiene el caso de flujo permanente. Se le acostumbra llamar red estática.

En una red de tubos con flujo permanente donde se conoce al menos la carga de presión de uno de sus nodos (generalmente es el nivel de la superficie libre del agua de un tanque de almacenamiento) y los gastos que entran o salen de la red (pueden ser gastos suministrados a usuarios de la red), es posible calcular las presiones en los nodos y los gastos que circulan en cada una de sus tuberías.

Cuando en una red que funciona a presión salen gastos variables en el tiempo (por ejemplo, para proporcionar más caudal a usuarios que lo solicitan en cierto momento del día), los gastos que existen en los tubos cambian con el tiempo. Estas condiciones corresponden a una red con flujo no permanente o una red dinámica.

3.1. RED DE TUBERÍA EN RÉGIMEN PERMANENTE (ANÁLISIS ESTÁTICO)

Para encontrar las cargas y los gastos en una red se emplean los principios de conservación de la energía y de masa (continuidad).

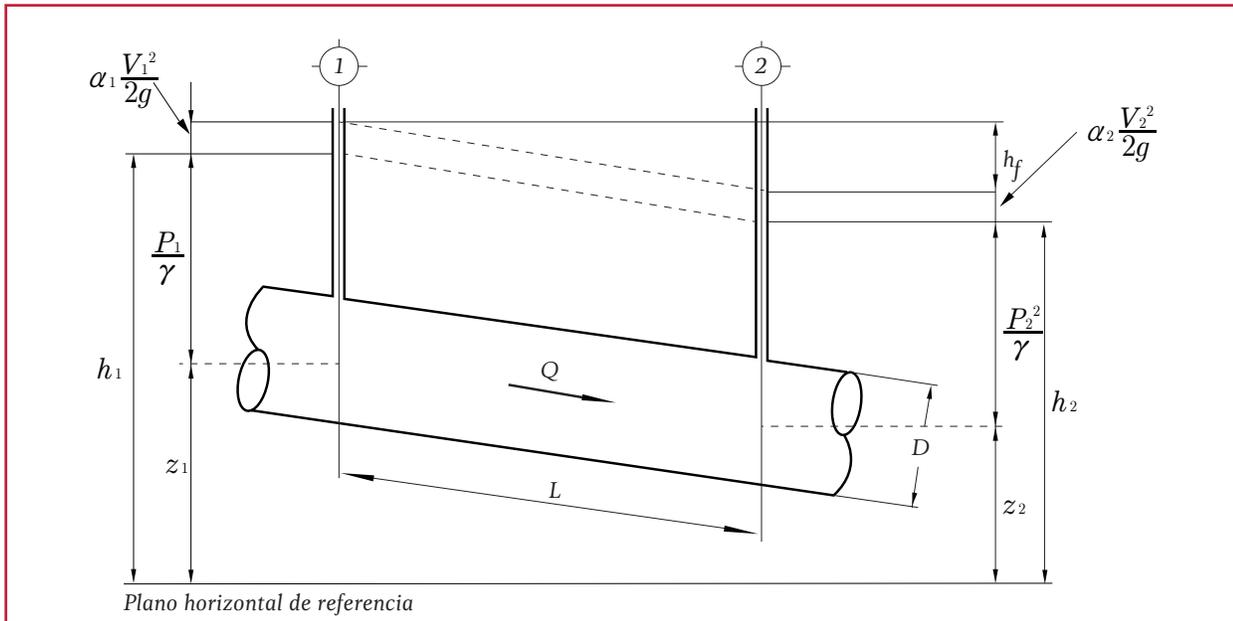
3.1.1. CASO DE UNA TUBERÍA

En la ilustración 3.1 se muestra una tubería de longitud L funcionando a presión. Al aplicar la ecuación de la conservación de la energía entre dos secciones cualesquiera 1 y 2, se tiene:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

donde z , P y V son la elevación respecto a un plano horizontal de referencia, la presión y la velocidad media, respectivamente, en el punto del centro de la sección; α es el coeficiente de

Ilustración 3.1 Cargas en los extremos del tubo



Coriolis (con un valor cercano a 1) γ y g son el peso específico del agua y la aceleración de la gravedad; h_f es la pérdida de carga debido al rozamiento en las paredes del conducto. Los subíndices 1 y 2 indican de que sección se trata.

Haciendo

$$h_1 = z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$h_2 = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

La conservación de energía resulta:

$$h_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Para una tubería con área de sección transversal constante ($A_1 = A_2$). Así, al aplicar el principio de continuidad $A_1 V_1 = A_2 V_2$, resulta que $V_1 = V_2 = V$. Si se acepta que $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$, la Ecuación 3.3 resulta:

$$h_f = h_1 - h_2 \quad \text{Ecuación 3.4}$$

De acuerdo con esta expresión, la pérdida de carga es igual a la caída de carga que tiene lugar en la tubería entre las secciones 1 y 2.

La pérdida de carga se calcula a través de la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{LV^2}{D2g} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

- f = coeficiente de pérdidas
- L = longitud de la tubería, en m
- D = diámetro de la tubería, en m
- V = velocidad media del flujo en m/s
- g = aceleración gravitacional, en m/s²
- h_f = pérdida de energía por fricción, en m

El coeficiente de pérdidas esta en función del la rugosidad de las paredes de la tubería, sin embargo, está no es homogénea a lo largo de la

conducción, por lo que para fines del diseño se establece un valor medio equivalente. Conviene aclarar que en dicho valor intervienen otros factores como la frecuencia y alineamiento de las juntas en los conductos de concreto o asbesto-cemento, o bien el tipo de costura o remachado en tuberías de acero, por ejemplo, además el efecto de las incrustaciones y acumulamientos, por la acción corrosiva del agua (Sotelo, 2002).

A través de estudios experimentales se determinó el coeficiente f , el cual se asoció al diámetro y la rugosidad del material de la tubería y número de Reynolds el cual se define como:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

donde:

ν = Viscosidad cinemática del fluido en (m²/s)

Coolebrook y While presentaron una ecuación empírica para números de Reynolds mayores a 4 000 (Zona de transición y turbulencia completa, observe la Ilustración 3.2) en tubos comerciales.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Ecuación 3.7

donde:

ϵ = Rugosidad absoluta de la pared interior del tubo (mm)

Con base en estos resultados, Moody (1944), presentó el diagrama universal para determinar

el coeficiente de fricción, f , en tuberías de rugosidad comercial que transporta cualquier líquido (Ilustración 3.2).

Por otra parte, el cálculo del coeficiente de pérdidas se puede realizar de forma directa a través de la ecuación de Swamee – Jain (o Churchill):

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Válida para $5\,000 < Re < 10^6$ y $10^{-6} < \frac{\epsilon}{D} < 10^{-2}$

Con la cual se calculan las pérdidas de energía por fricción en una conducción. La Tabla 3.1 presenta algunos valores de rugosidad absoluta para diversos materiales. Los cuales fueron tomados de la referencia indicada y no constituyen ordenanza por parte de la CONAGUA, por lo que es responsabilidad del diseñador el uso de estos datos. Lo más recomendable, para el caso de tubería nueva y de materiales no considerados en esta tabla, consultar las especificaciones de cada proveedor, las cuales deberán estar fundamentadas en la normatividad correspondiente.

Los valores presentados en la Tabla 3.1, corresponden a tubería nueva, sin embargo, el efecto corrosivo del agua y los años de servicio de la tubería afectan el valor de la rugosidad absoluta del tubo. Para evaluar estos efectos, el criterio que parece más efectivo es el de Genijew (Sotelo, 2002) y que corresponde a la Ecuación 3.9.

Ilustración 3.2 Diagrama universal de Moody, Coeficiente de fricción f para cualquier tipo y tamaño de tubo (modificado de Moody, 1944)

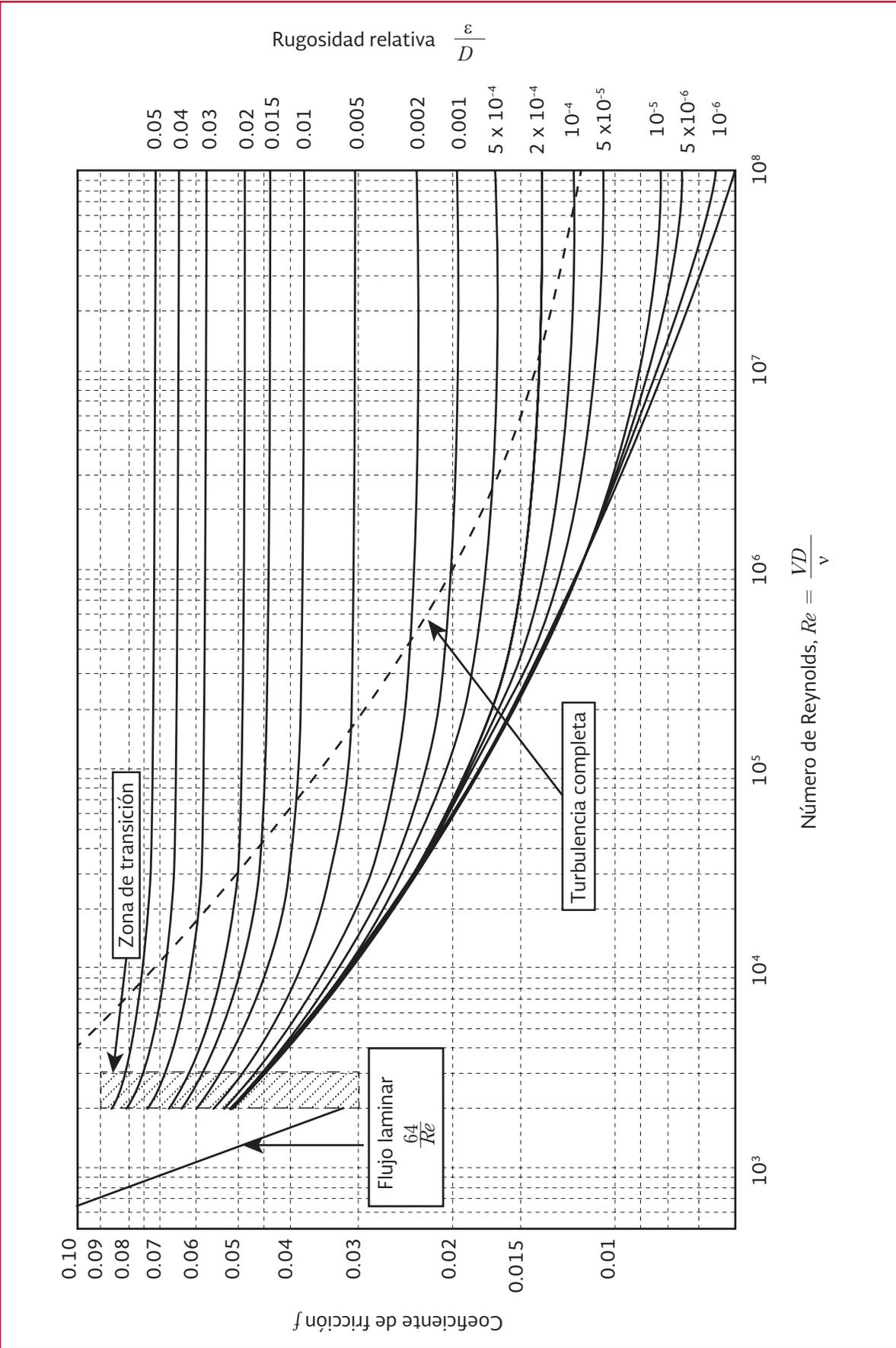


Tabla 3.1 Rugosidades absolutas para algunos materiales (Sotelo, 2002)

Material	ϵ (mm)
Tubos lisos	
De vidrio, cobre, latón, madera (bien cepillada), acero nuevo soldado y con una mano interior de pintura; tubos de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule	0.0015
Tubos industriales de latón	0.025
Tubos de madera	0.2 a 1
Fierro forjado	0.05
Fierro fundido nuevo	0.25
Fierro fundido, con protección interior de asfalto	0.12
Fierro fundido oxidado	1 a 1.5
Fierro fundido, con incrustaciones	1.5 a 3
Fierro fundido, centrifugado	0.05
Fierro fundido nuevo, con bridas o juntas de macho y campana	0.15 a 0.3
Fierro fundido usado, con bridas o juntas de macho y campana	2 a 3.5
Fierro fundido para agua potable con bastantes incrustaciones y diámetro de 50 a 125 mm	1 a 4
Fierro galvanizado	0.15
Acero rolado, nuevo	0.05
Acero laminado, nuevo	0.04 a 0.1
Acero laminado con protección interior de asfalto	0.05
Tubos de acero de calidad normal	
Nuevo	0.05 a 0.1
Limpiado después de mucho uso	0.15 a 0.20
Moderadamente oxidado, con pocas incrustaciones	0.4
Con muchas incrustaciones	3
Con remaches transversales, en buen estado	0.1
Con costura longitudinal y una línea transversal de remaches en cada junta, o bien laqueado interiormente	0.3 a 0.4
Acero soldado, con líneas transversales de remaches, sencilla o doble; o tubos remachados con doble hilera longitudinal de remaches e hilera transversal sencilla, sin incrustaciones	0.6 a 0.7
Acero soldado, con una hilera transversal sencilla de pernos en cada junta, laqueado interior, sin oxidaciones, con circulación de agua turbia	1
Acero soldado, con doble hilera transversal de pernos, agua turbia, tubería remachada con doble costura longitudinal de remaches y transversal sencilla, interior asfaltado o laqueado	1.2 a 1.3
Acero soldado, con costura doble de remaches transversales, muy oxidado	
Acero remachado, de cuatro a seis filas longitudinales de remaches, con mucho tiempo de servicio	2
Tubos remachados, con filas longitudinales y transversales	
a) Espesor de lámina < 5 mm	0.65
b) Espesor de lámina de 5 a 12 mm	1.95
c) Espesor de lámina > 12 mm, o entre 6 y 12 mm, si las hileras de pernos tienen cubrejuntas	3
d) Espesor de lámina > 12 mm con cubrejuntas	5.5
Tubos remachados, con cuatro filas transversales y seis longitudinales con cubrejuntas interiores	4
No metálicos	
Asbesto-cemento nuevo	0.025
Asbesto-cemento, con protección interior de asfalto	0.0015
Concreto centrifugado, nuevo	0.16
Concreto centrifugado, con protección bituminosa	0.0015 a 0.125
Concreto de acabado liso	0.025
Concreto con acabado normal	1 a 3

$$\varepsilon_t = \varepsilon_0 + at \quad \text{Ecuación 3.9}$$

donde:

- ε_t = Rugosidad del conducto después de t años de servicio (mm)
- ε_0 = Rugosidad del tubo nuevo (mm)
- a = Coeficiente que depende del grupo en que se clasifique el agua que va a escurrir, de acuerdo con la Tabla 3.2
- t = Número de años de servicio de la tubería

3.1.2. REDES DE DISTRIBUCIÓN

El principio de continuidad establece que en un nodo la suma de los gastos que entran a él es igual a la suma de los gastos que salen del mismo. Al aplicar este principio en cada nodo de la red se establece una ecuación lineal en términos de los gastos.

Considérese la red de la Ilustración 3.3 donde se conoce la carga en el nodo 5. Se han numerado los nodos y las tuberías, distinguiendo a estas últimas con números encerrados en un círculo. También aparecen

con flechas los gastos q que egresan de (o ingresan a) la red y los gastos Q que fluyen en las tuberías; para estos últimos se ha supuesto el sentido de flujo.

Así, al aplicar el principio de continuidad en los nodos 1 a 4 se establece el siguiente sistema de ecuaciones.

$$-Q_1 - Q_2 + Q_3 = q_1$$

$$Q_1 - Q_3 - Q_4 = -q_2$$

$$Q_2 + Q_3 - Q_5 = q_3$$

$$Q_5 + Q_4 = q_4$$

El sistema de ecuaciones correspondiente a cualquier red se puede escribir como:

$$\sum Q_j = qn \quad \text{Ecuación 3.10}$$

donde la suma se hace para todos los tubos j conectados al nodo n .

Al sustituir los gastos en términos de las cargas de presión se plantea un sistema no lineal de ecuaciones.

Tabla 3.2 Coeficiente a de la formula de Genijew (Sotelo. 2002)

Grupo	Especificación	a	
		Rango	promedio
Grupo I	Agua con poco contenido mineral que no origina corrosión. Agua con un pequeño contenido de materia orgánica y de solución de hierro	0.005 a 0.0055	0.025
Grupo II	Agua con poco contenido mineral que origina corrosión. Agua que contiene menos de 3 mg/L de materia orgánica y hierro en solución	0.055 a 0.18	0.017
Grupo III	Agua que origina fuerte corrosión y con escaso contenido de cloruros y sulfatos (menos de 100 a 150 mg/L). Agua con un contenido de hierro de más de 3 mg/L	0.18 a 0.40	0.2
Grupo IV	Agua que origina fuerte corrosión con un gran contenido de sulfatos y cloruros (de 500 a 700 mg/L). Agua impura con una gran cantidad de materia orgánica	0.40 a 0.60	0.51
Grupo V	Agua con cantidades importantes de carbonatos, pero de dureza pequeña permanente, con residuo denso de 2 000 mg/L	0.6 a 1, o más	

Por ejemplo, al expresar los gastos Q_1 a Q_5 del sistema formado a partir de la Ecuación 3.10 en función de las cargas se obtiene:

$$\begin{aligned} -k_1(h_1 - h_2)^{1/2} - k_2(h_1 - h_3)^{1/2} + k_6(h_5 - h_1)^{1/2} &= q_1 \\ k_1(h_1 - h_2)^{1/2} - k_3(h_2 - h_3)^{1/2} - k_4(h_2 - h_4)^{1/2} &= q_2 \\ k_2(h_1 - h_3)^{1/2} + k_3(h_2 - h_3)^{1/2} - k_5(h_3 - h_4)^{1/2} &= q_3 \\ k_5(h_3 - h_4)^{1/2} - k_4(h_2 - h_4)^{1/2} &= q_4 \end{aligned}$$

Se trata de un sistema de ecuaciones no lineales que tiene como incógnitas a h_1, h_2, h_3 y h_4 (en el nodo 5 la carga es conocida y sirve como nivel de referencia para las demás).

También es posible escribir las ecuaciones del sistema anterior de un modo general, como:

$$\sum F_j(h) = q_n \quad \text{Ecuación 3.11}$$

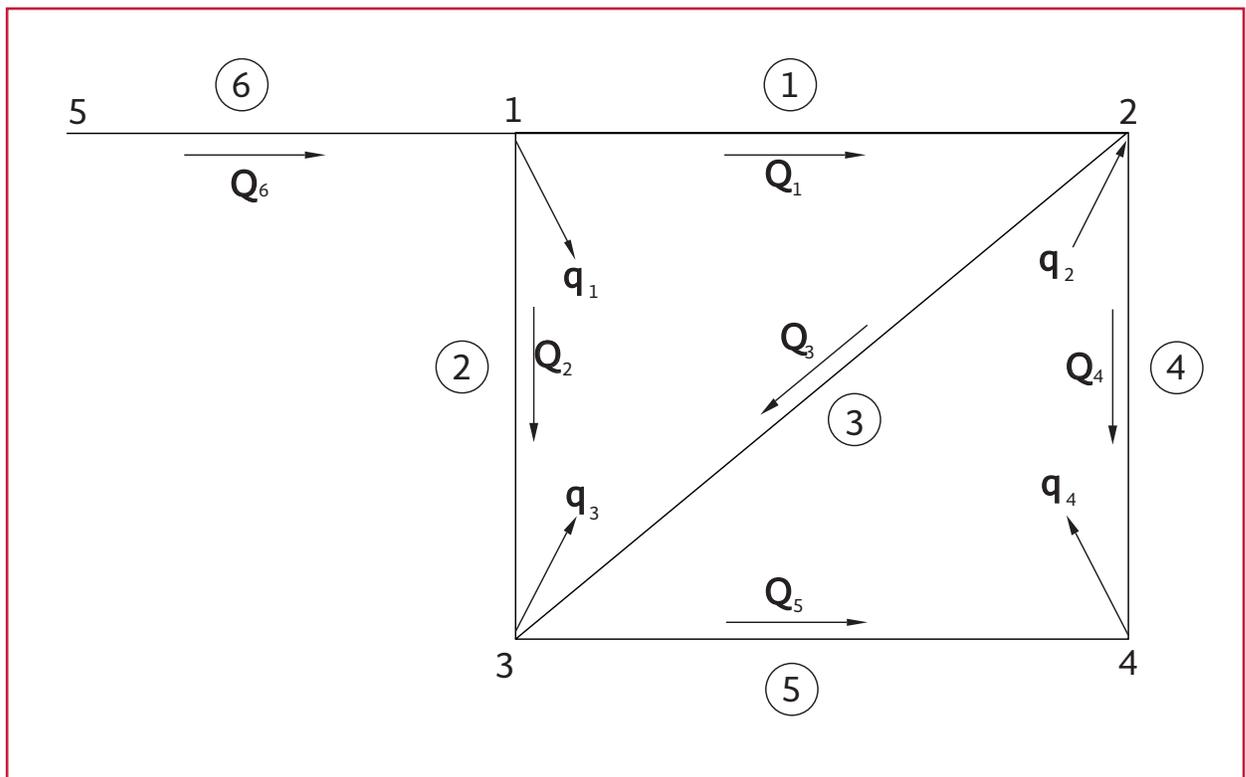
donde la suma se efectúa para todos los tubos j conectados al nodo n y $F(h)$ es una función no lineal de las cargas de los extremos de estos tubos.

La solución de la red consiste en calcular las cargas h que satisfacen simultáneamente el sistema de la Ecuación 3.11, ya obtenidas las cargas.

3.1.3. MÉTODOS DE SOLUCIÓN

Para resolver sistemas de ecuaciones no lineales se puede utilizar el método de Newton Raphson (Burden, Faires y Reynolds, 1979) o bien un procedimiento que simplifique el problema matemático a resolver, por ejemplo, el método de Cross, que al considerar circuitos dentro de la red disminuye el número de ecuaciones no lineales por resolver. Sin embargo, el desarrollo

Ilustración 3.3 Red cerrada de tubos



de los equipos de cómputo y de los programas para diseño de redes de distribución permiten solucionar estos sistemas de ecuaciones y con ello diseñar los sistemas de distribución a través de modelos de simulación.

3.1.4. EJEMPLO 1 RED ESTÁTICA ABIERTA

Determinar las cargas de presión en cada uno de los nodos de la red de la Ilustración 3.4, así como los gastos en cada uno de los tubos. En la ilustración se muestra la geometría de la red, los gastos de demanda en los nodos, la cota de cada nodo, la longitud y diámetro de la tubería, el gasto de ingreso y la ubicación del tanque. Considere una rugosidad absoluta de 0.0015 mm para todos los tramos (de la Tabla 3.1).

Solución:

Para resolver una red con estas características se puede recurrir al uso de algún programa de cómputo comercial, siguiendo las recomendaciones presentadas en el libro *Modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución*, del MAPAS.

Para el caso de este ejemplo se presenta la solución utilizando la plataforma de simulación en estado permanente de CivilCad® 2013.

En la Tabla 3.4, la Tabla 3.5 y la Tabla 3.6 se presentan diversos parámetros que son de utilidad en la revisión de las redes. En la primera se indican la carga en los nodos y el gasto que se suministra o extrae de ellos; en la segunda, el gasto que fluye por los tramos de tubería, la velocidad de flujo y las pérdidas por conducción;

en la tercera se presenta el comportamiento de la presión en los extremos de los tramos.

En el ejemplo se tienen valores superiores a los 10 metros de carga en los nodos, el valor mínimo recomendado que debe existir en la red; el valor más pequeño que se reporta en esta red es de 19.15 m en el nodo 4 y el máximo es de 33.69 m en el nodo 1. Nótese que en el tramo 1-3 se presenta la mayor pérdida de carga, esto debido a que las pérdidas por conducción son en función de la velocidad.

De forma gráfica, el programa ofrece los resultados directamente en el trazo de la red de distribución, esto es muy conveniente al preparar los planos ejecutivos para la ejecución de la obra. Este tema se revisa de forma detallada en el libro *Proyectos ejecutivos*, del MAPAS.

3.1.5. EJEMPLO 2 RED ESTÁTICA CERRADA

Obtener los gastos que fluyen en las tuberías de la red cerrada mostrada en la Ilustración 3.6, así como las presiones en los nodos. Considérese un factor de fricción de Darcy-Weisbach igual a 0.02.

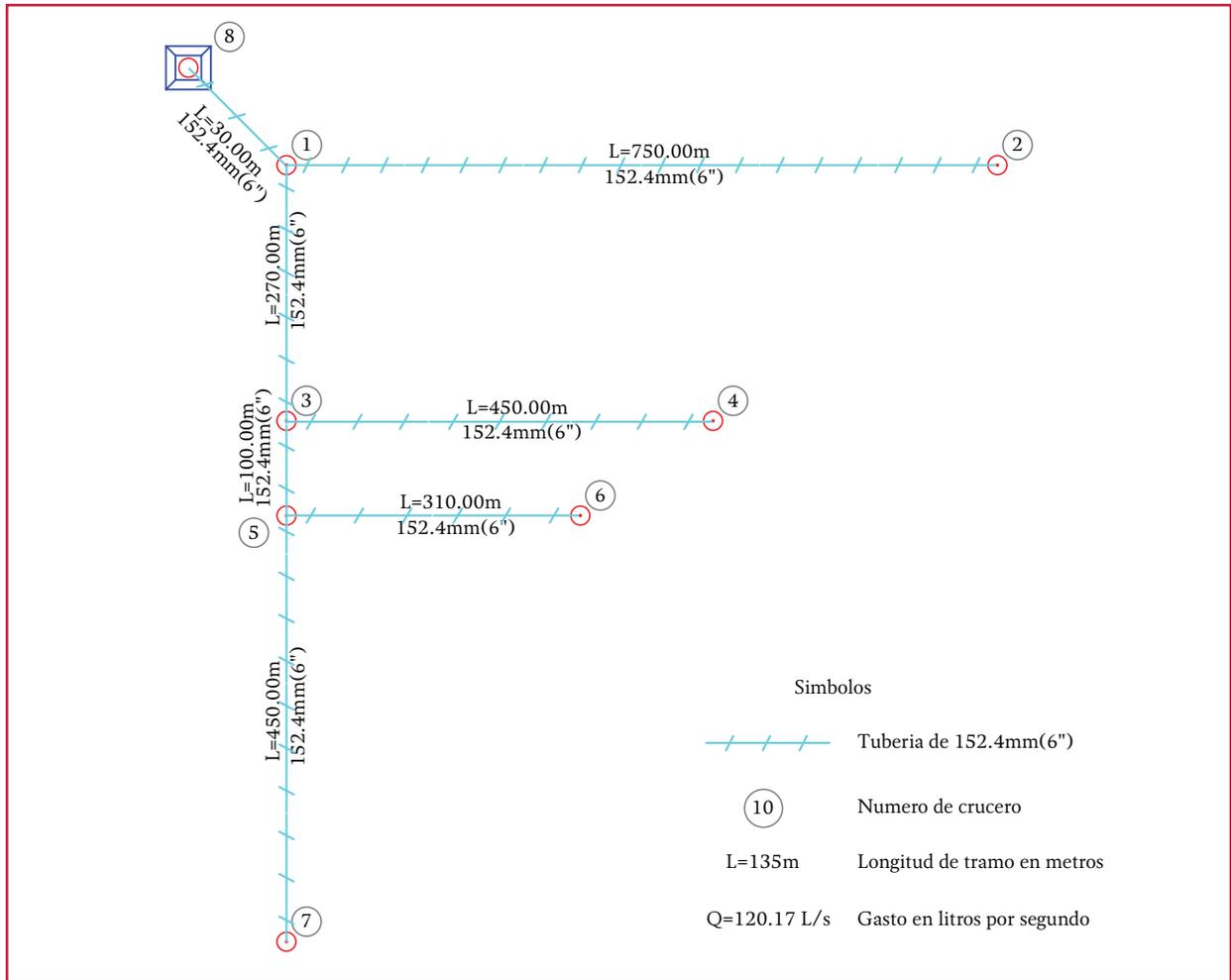
Solución:

Del mismo modo que en el ejemplo anterior, se realiza el análisis en estado permanente, con el cual se obtienen las cargas de presión (niveles piezométricos) en cada uno de los nodos, así como los gastos en cada tubería (Ilustración 3.7). En la Tabla 3.8 se indica la carga en los nodos y el gasto que se suministra o extrae de ellos. En la Tabla 3.9 se presenta el gasto que fluye por los tramos de tubería, la velocidad de

Tabla 3.3 Datos para la red de la Ilustración 3.4

Nodo	Elevación	Demanda	Nodo	Elevación	Demanda	Datos de tanque		(nodo 8)
	msnm	L/s		msnm	L/s	Área	189.6	m ²
1	1 819	16.24	5	1 820	13.3	Altura	2.9	m
2	1 825	11.60	6	1 822	4.80			
3	1 819	12.69	7	1 821	6.96			
4	1 825	6.96						

Ilustración 3.4 Red abierta de agua potable para el ejemplo



flujo y las pérdidas por conducción. En la Tabla 3.10 se presenta el comportamiento de la presión en los extremos de los tubos.

La versatilidad de estos programas permite evaluar distintas alternativas de solución de manera rápida. Considere que para el diseño

de redes de distribución existen diversos programas de cómputo disponibles en el mercado; la elección de alguno de estos, estará en función de las necesidades específicas de cada proyecto. Para esto se presentan recomendaciones de selección de programas de cómputo en el apartado 3.3.

Tabla 3.4 Resultados de la simulación estática para los nodos

Nodo	Cota piezométrica msnm	Presión m	Tramos		
			de	a	Q (L/s)
1	1 852.691	33.691	1	201	-72.500
			1	191	44.660
			1	190	11.600
			Total		-16.240
2	1 850.837	25.837	2	1	-11.600
			Total		-11.600
3	1 844.588	25.588	3	5	25.010
			3	1	-44.660
			3	4	6.960
			Total		-12.690
4	1 844.156	19.156	4	3	-6.960
			Total		-6.960
5	1 843.562	23.562	5	7	6.910
			5	3	-25.010
			5	6	4.800
			Total		-13.300
6	1 843.413	21.413	6	5	-4.800
			Total		-4.800
7	1 843.413	22.136	7	5	-6.910
			Total		-6.910
8	1 854.900	2.900	8	1	72.500
			Total		72.500

3.2. RED DE TUBERÍA EN RÉGIMEN NO PERMANENTE (ANÁLISIS DINÁMICO)

En las redes de distribución los gastos de demanda son variables a lo largo del día, a ello se debe que cambien los niveles piezométricos y gastos en su tubería. Para el estudio de estos cambios se debe tomar en cuenta el tiempo en las ecuaciones de flujo.

Un estudio de estas características permite simular el flujo en la tubería y a partir de sus resultados se determina la posibilidad de cumplir con los gastos de demanda. Se revisa su comportamiento hidráulico y el tamaño de los

tanques, se establecen políticas de operación, etcétera.

Un aspecto fundamental en el método de la red dinámica es la demanda, ya que los gastos proporcionados a los usuarios dependen de la presión en la red.

En el funcionamiento de la red dinámica se aprecia que, durante los periodos de gasto de demanda inferior al gasto medio, se llenan tanques de almacenamiento; mientras en los lapsos de demanda superior al gasto medio, el gasto se da a los usuarios con el agua que llega a los tanques y con la almacenada en ellos. De ese modo se tiene una menor variación en los gastos.

Ilustración 3.5 Resultados para la red del ejemplo 1

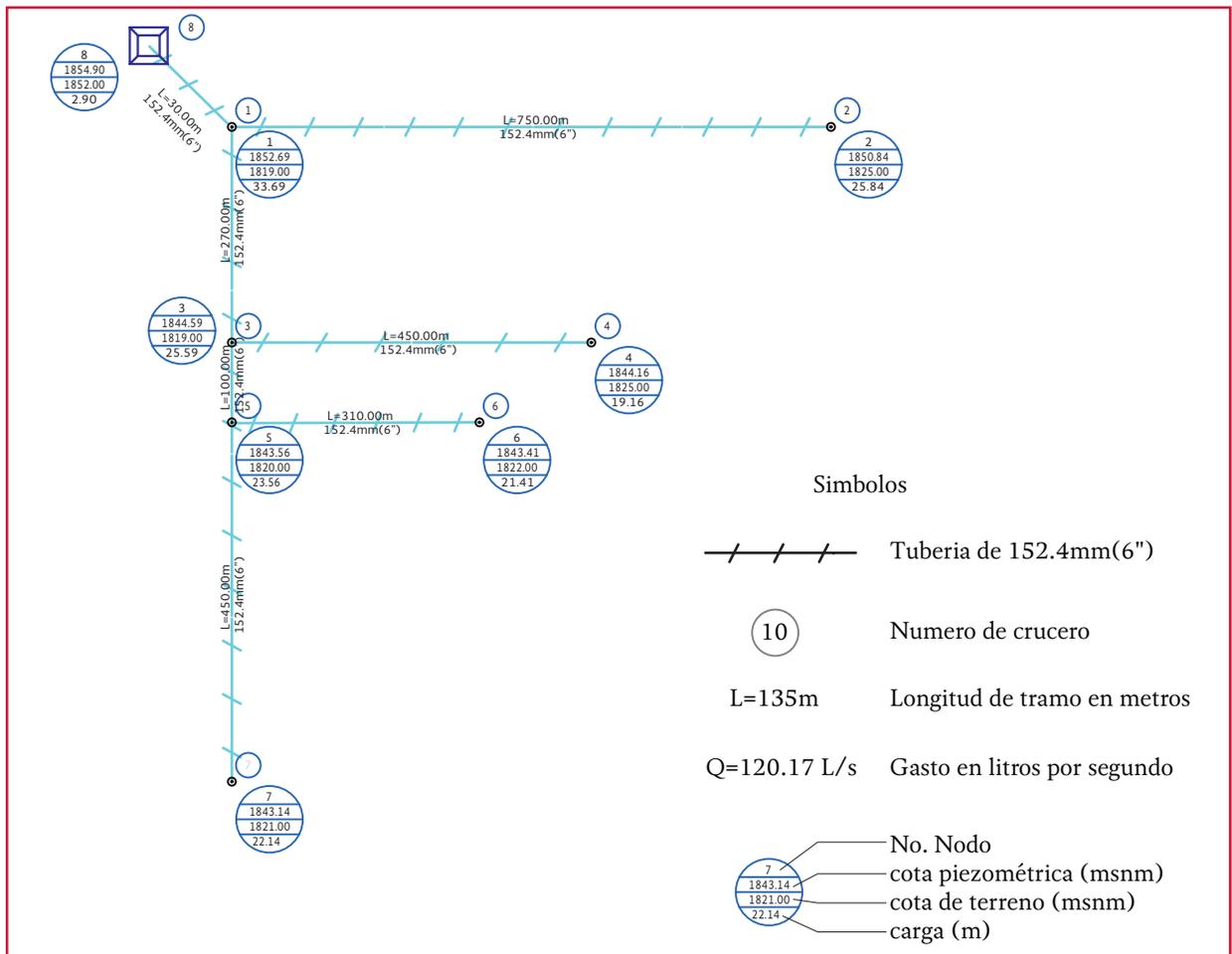


Tabla 3.5 Resultados de la simulación estática (primer parte)

Tramo		Diámetro	Gasto	Velocidad	Pérdida de carga
de	a	(mm)	(L/s)	(m/s)	(m)
1	3	152.4	44.66	2.45	8.10
1	2	152.4	11.60	0.64	1.85
3	5	152.4	25.01	1.37	1.03
3	4	152.4	6.96	0.38	0.43
5	7	152.4	6.91	0.38	0.43
5	6	152.4	4.80	0.26	0.15
8	1	152.4	72.50	3.97	2.21

Tabla 3.6 Resultados de la simulación estática (segunda parte)

Tramo		Cota de terreno		Cota piezométrica		Carga disponible	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
de	a	(msnm)	(msnm)	(msnm)	(msnm)	(m)	(m)
1	3	1 819.00	1 819.00	1 852.69	1 844.59	33.69	25.59
1	2	1 819.00	1 825.00	1 852.69	1 850.84	33.69	25.84
3	5	1 819.00	1 820.00	1 844.59	1 843.56	25.59	23.56
3	4	1 819.00	1 825.00	1 844.59	1 844.16	25.59	19.16
5	7	1 820.00	1 821.00	1 843.56	1 843.14	23.56	22.14
5	6	1 820.00	1 822.00	1 843.56	1 843.41	23.56	21.41
8	1	1 852.00	1 819.00	1 854.90	1 852.69	2.90	33.69

Tabla 3.7 Datos para la red de la Ilustración 3.6

Nodo	Elevación	Demanda	Nodo	Elevación	Demanda	Datos de tanque		
	msnm	L/s		msnm	L/s	Nodo	Elevación	Demanda
1	277.37	0.000	5	271.27	4.725			
2	275.84	3.150	6	265.18	3.150	9	289.57	35.00
3	280.416	0.000	7	265.18	4.725	10	295.7	80.30
4	271.27	5.040	8	259.08	94.500			

Ilustración 3.6 Red cerrada de distribución de agua potable para ejemplo

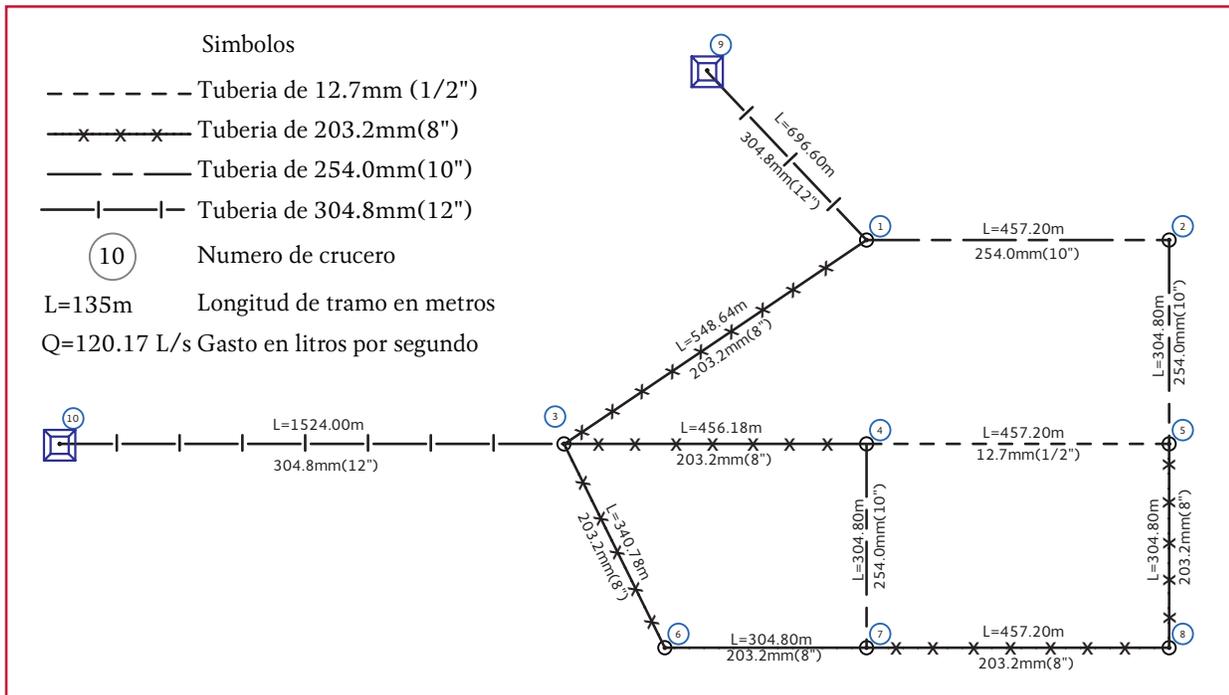


Ilustración 3.7 Resultados para la red del ejemplo 2

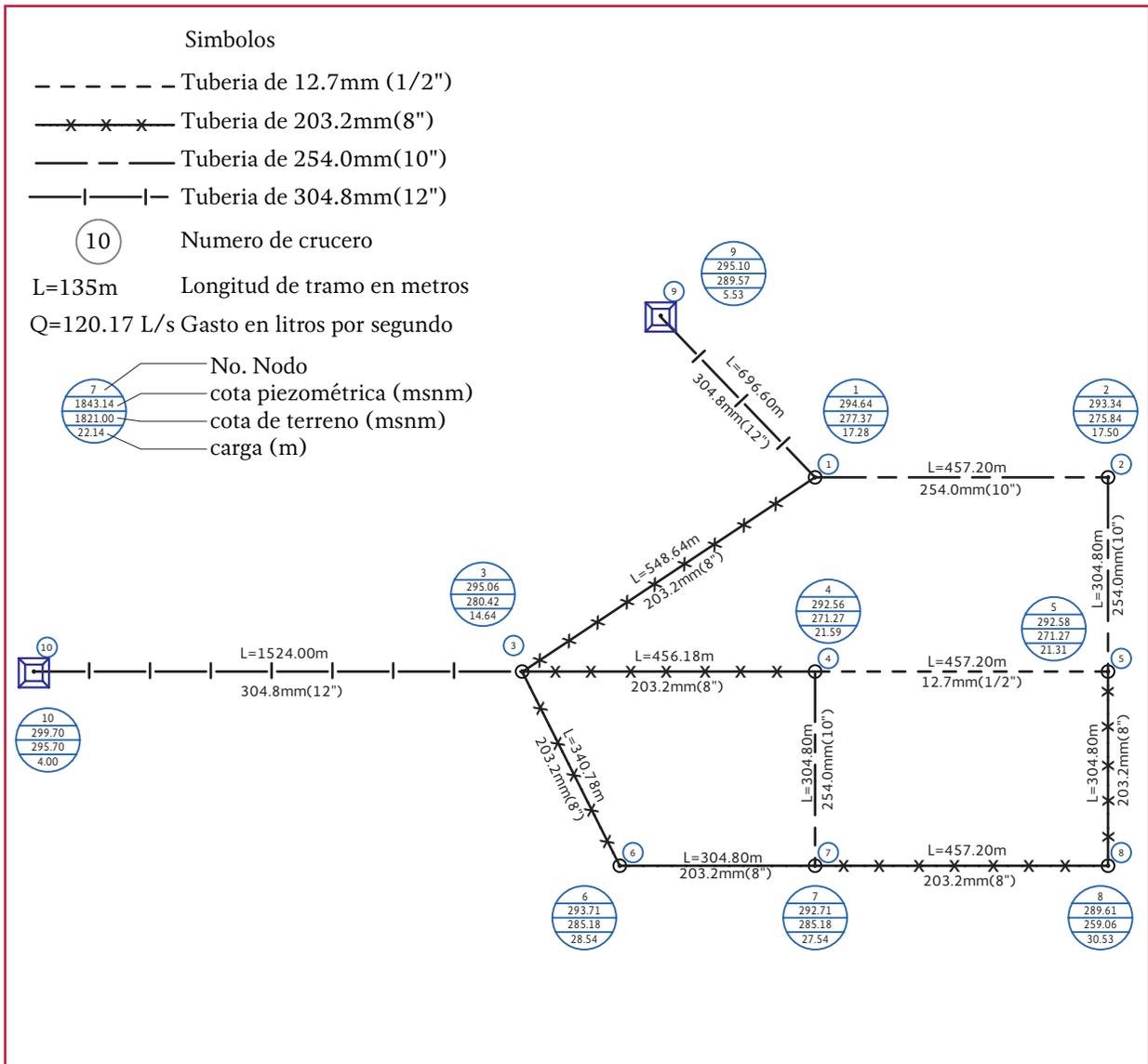


Tabla 3.8 Resultados de la simulación estática para los nodos de una red cerrada

Nodo	Cota piezométrica	Presión	Tramos			
	msnm	m	de	a	Q (L/s)	
1	294.645	17.277	1	2	47.970	
			1	3	-12.970	
			1	9	-35.000	
			Total			0.000
2	293.343	17.499	2	5	44.820	
			2	1	-47.970	
			Total			-3.150
			3	295.057	14.641	3
3	11	-48.368				
3	1	12.970				
Total						0.000
4	292.864	21.592	4	7	18.607	
			4	3	-35.397	
			4	5	11.750	
			Total			-5.040
5	292.578	21.306	5	4	-11.750	
			5	2	-44.820	
			5	8	51.846	
			Total			-4.725
6	293.712	28.536	6	11	-31.932	
			6	7	28.782	
			Total			-3.150
			7	292.713	27.537	7
7	4	-18.607				
7	8	42.664				
Total						-4.725
8	289.608	30.528	8	7	-42.664	
			8	5	-51.846	
			Total			-94.510
			9	295.100	5.532	9
Total						35.000
10	299.700	4.000	10	11	80.300	
			Total			80.300

Tabla 3.9 Resultados de la simulación estática de una red cerrada (primer parte)

Tramo		Diámetro	Gasto	Velocidad	Pérdida de carga
de	a	(mm)	(l/s)	(m/s)	(m)
1	2	254.0	18.881	0.947	1.302
2	5	254.0	15.731	0.885	0.765
3	4	203.2	55.945	1.092	2.193
3	1	203.2	-16.119	0.400	0.411
4	7	254.0	21.551	0.367	0.150
4	5	203.2	29.354	0.362	0.285
5	8	203.2	40.360	1.599	2.970
6	7	203.2	37.323	0.888	0.999
7	8	203.2	54.150	1.316	3.106
9	1	304.8	35.000	0.480	0.455
10	3	304.8	80.300	1.101	4.635
3	6	203.2	40.473	0.985	1.354

Tabla 3.10 Resultados de la simulación estática de una red cerrada (segunda parte)

Tramo		Cota de terreno		Cota piezométrica		Carga disponible	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
de	a	(msnm)	(msnm)	(msnm)	(msnm)	(m)	(m)
1	2	277.368	275.844	294.645	293.343	17.277	17.499
2	5	275.844	271.272	293.343	292.578	17.499	21.306
3	4	280.416	271.272	295.057	292.864	14.641	21.592
3	1	280.416	277.368	295.057	294.645	14.641	17.277
4	7	271.272	265.176	292.864	292.713	21.592	27.537
4	5	271.272	271.272	292.864	292.578	21.592	21.306
5	8	271.272	259.080	292.578	289.608	21.306	30.528
6	7	265.176	265.176	293.712	292.713	28.536	27.537
7	8	265.176	259.080	292.713	289.608	27.537	30.528
9	1	289.568	277.368	295.100	294.645	5.532	17.277
10	3	295.700	280.416	299.700	295.065	14.649	14.649
3	6	280.416	265.176	295.065	293.712	14.649	28.536

En el modelo dinámico se toma en cuenta la forma en que funcionan tanques, bombas y válvulas. Además, se consideran los lapsos en los que están en servicio los tanques y las bombas, asegurándose que las condiciones hidráulicas de la red permitan su funcionamiento. Entonces, si se desea poner en operación una bomba, se debe tener en cuenta que aportan agua a la red cuando la carga de presión se encuentra dentro del intervalo de operación de su curva característica.

La simulación del funcionamiento de la red comienza con el cálculo de cargas y gastos en régimen permanente (red estática).

También con las ecuaciones del modelo dinámico se pueden obtener las cargas y los gastos de régimen permanente, para lo cual se mantienen sin cambio los niveles de tanques y gastos de demanda. Se ha notado que esto se lleva a cabo con menos iteraciones que con los métodos para la solución de redes de flujo permanente.

3.2.1. ECUACIONES DEL MODELO DINÁMICO

El modelo dinámico se basa en la solución de las ecuaciones diferenciales de continuidad y de cantidad de movimiento de flujo no permanente funcionando a presión. Para ello se emplea un esquema de diferencias finitas de tipo implícito (Fuentes, 1992).

Ecuación de conservación de cantidad de movimiento en una tubería

Para un tubo cualquiera de la red con extremos 1 y 2 (Ilustración 3.8), aplicando el principio de conservación de cantidad de movimiento, se obtiene que:

$$Q^{k+1} = \alpha^k (h_2^{k+1} - h_1^{k+1}) + \gamma^{k-1}$$

Ecuación 3.12

donde:

$$\alpha^k = \frac{\theta}{\frac{L}{ag\Delta t} + 2\theta C|Q^k|} \quad \text{Ecuación 3.13}$$

$$\gamma^k = \frac{(1-\theta)(h_s^k - h_i^k) + (2\theta - 1)C|Q^k|Q^k + \frac{LQ^k}{ag\Delta t}}{\frac{L}{ag\Delta t} + 2\theta C|Q^k|}$$

Ecuación 3.14

donde Δt es intervalo de tiempo, α es el área transversal del tubo, L la longitud del tubo, g la aceleración de la gravedad, θ es un factor de peso (comprendido entre cero y uno), C es función de la longitud y el diámetro de las tuberías, y k es un superíndice que indica el valor de la

variable en el tiempo $t = k\Delta t$.

La Ecuación 3.12 relaciona las cargas piezométricas en los extremos de la tubería con el gasto que circula por ella en el instante k (suponiendo que el flujo es de 2 a 1). En estas ecuaciones se acepta que las variables en el instante $k - 1$ son conocidas.

Ecuación de continuidad en cada nodo

En cada nodo i de la red y para el tiempo $t = k\Delta t$, se establece que la suma de los gastos que entran es igual a la de los gastos que salen. Así se plantea que:

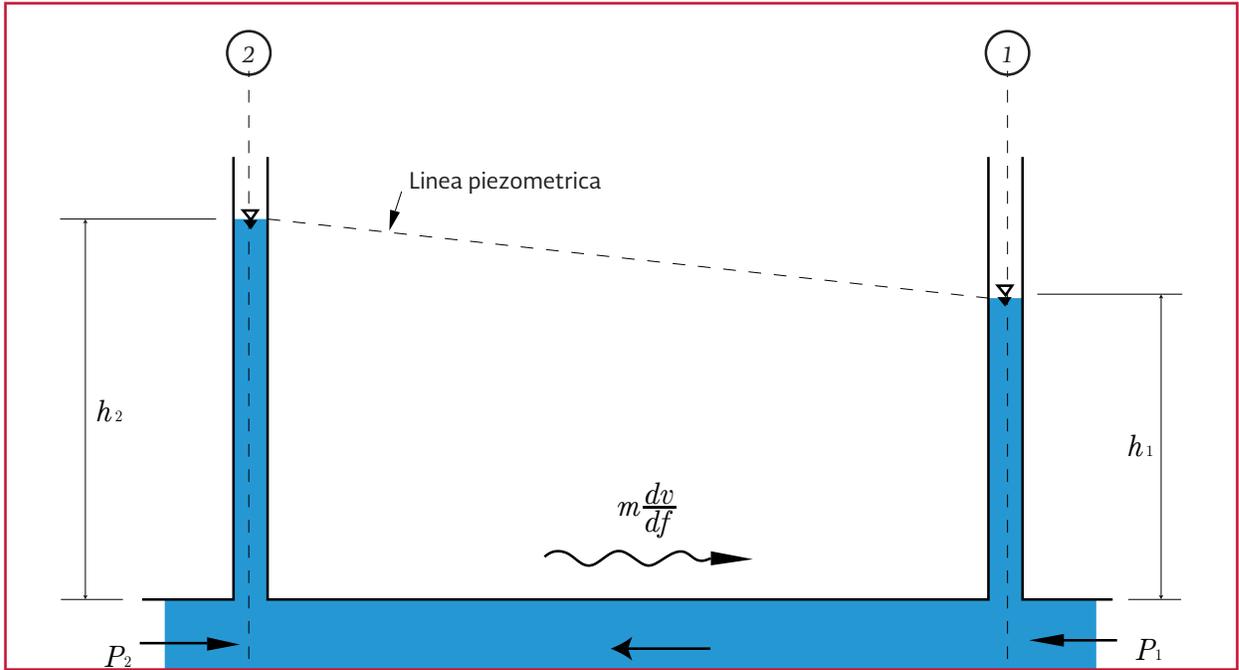
$$\sum_i Q^{k+1} = q_{Di}^{k+1} \quad \text{Ecuación 3.15}$$

Gastos de demanda

Para realizar la simulación de flujo no permanente, en una red de distribución de agua potable con el modelo dinámico, es necesario tener en cuenta la variación de la demanda a lo largo del día. Para la ciudad de México, la ley de variación horaria fue determinada en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, a partir de la medición de presiones de la red. La demanda horaria se estableció al relacionar el gasto instantáneo q al gasto promedio q_{med} en el día. Las relaciones obtenidas (q/q_{med}) se consignan en la Tabla 3.11. La curva de variación horaria se muestra en la Ilustración 3.9.

Adicionalmente, también se presentan dos curvas de variación del gasto de demanda aplicables a diferentes ciudades de la República Mexicana (Tabla 3.12 e Ilustración 3.10), así como a poblaciones pequeñas (Tabla 3.13 e Ilustración 3.11).

Ilustración 3.8 Fuerzas que actúan en el tiempo t



Gastos suministrados

En el modelo se considera que el gasto que sale de un nodo de la red en el tiempo t para tratar de satisfacer la demanda, depende de la carga de presión en dicho nodo y del gasto de demanda requerido en tal tiempo. El gasto suministrado por la red se calcula mediante la expresión:

$$q_R = C_d a \sqrt{2g} \sqrt{h - h_c} \quad \text{Ecuación 3.16}$$

donde C_d es un coeficiente de descarga, a el área de la abertura por donde sale el agua, g la aceleración de la gravedad y h_c la elevación del punto medio de la sección transversal de la tubería.

Se acepta que h_c sea aproximadamente igual a la elevación de la superficie del terreno y que:

$$c = C_d a \sqrt{2g} \quad \text{Ecuación 3.17}$$

por lo que:

$$q_R = c \sqrt{h - h_E} \quad \text{Ecuación 3.18}$$

Esta expresión permite determinar el gasto que puede aportar la red en cualquier instante. El gasto que se suministra a los usuarios es el menor entre el gasto de demanda y el gasto calculado con la Ecuación 3.18. En forma linealizada, esta ecuación resulta:

$$q_R = \tau^k h^{k+1} + \rho^k \quad \text{Ecuación 3.19}$$

donde:

$$\tau^k = \frac{0.5 q_a}{(h^k - h_E)} \quad \text{Ecuación 3.20}$$

$$\rho^k = 0.5 q_a \left(1 - \frac{h_E}{(h^k - h_E)} \right)$$

$$\text{Ecuación 3.21}$$

Tabla 3.11 Coeficientes de variación horaria para la ciudad de México

t (h)	q/q_{med}	t (h)	q/q_{med}
0	0.570	12	1.495
1	0.560	13	1.430
2	0.550	14	1.350
3	0.560	15	1.250
4	0.580	16	1.175
5	0.650	17	1.125
6	0.800	18	1.100
7	1.000	19	1.075
8	1.300	20	1.000
9	1.425	21	0.780
10	1.475	22	0.650
11	1.500	23	0.600

Ilustración 3.9 Variación horaria de la demanda para la ciudad de México

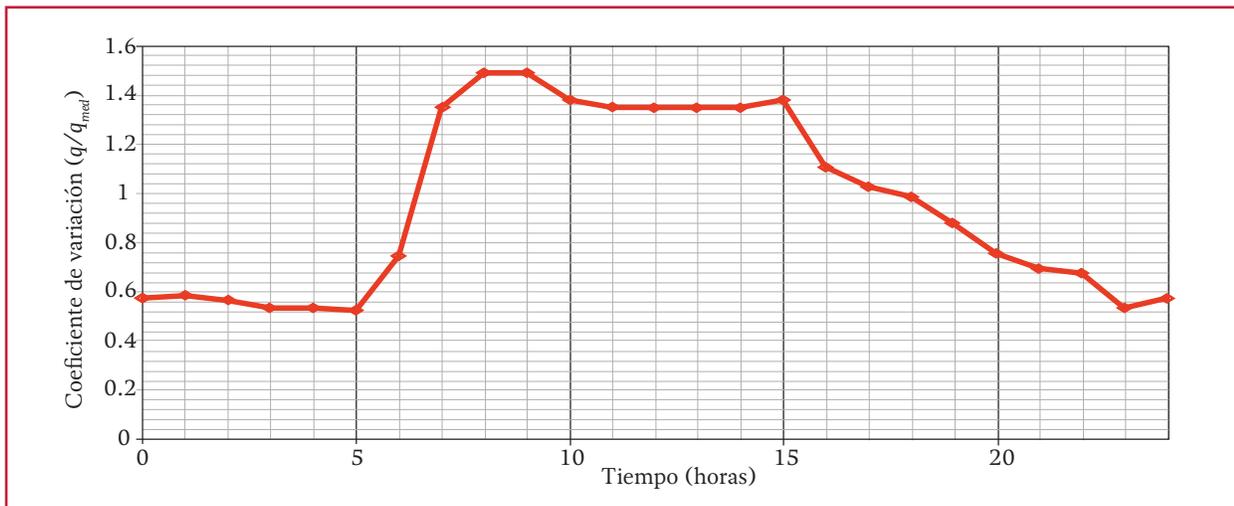


Tabla 3.12 Coeficientes de variación horaria para distintas ciudades de México

t (h)	q/q_{med}	t (h)	q/q_{med}
0	0.606	12	1.288
1	0.616	13	1.266
2	0.633	14	1.216
3	0.637	15	1.201
4	0.651	16	1.196
5	0.828	17	1.151
6	0.938	18	1.121
7	1.199	19	1.056
8	1.307	20	0.901
9	1.372	21	0.784
10	1.343	22	0.710
11	1.329	23	0.651

Ilustración 3.10 Coeficientes de variación horaria para distintas ciudades de México

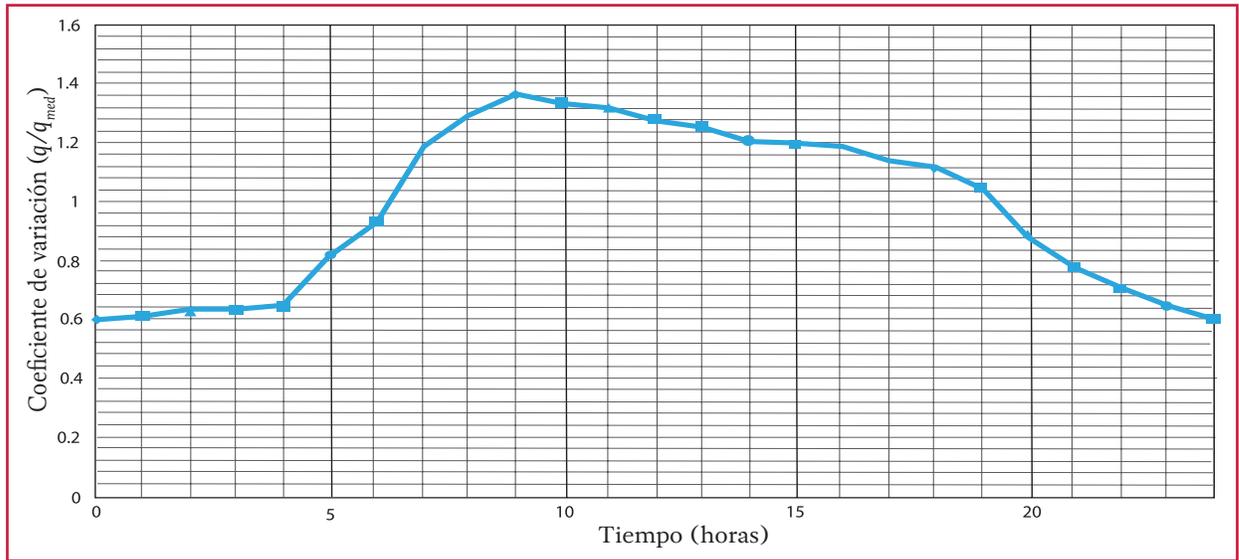
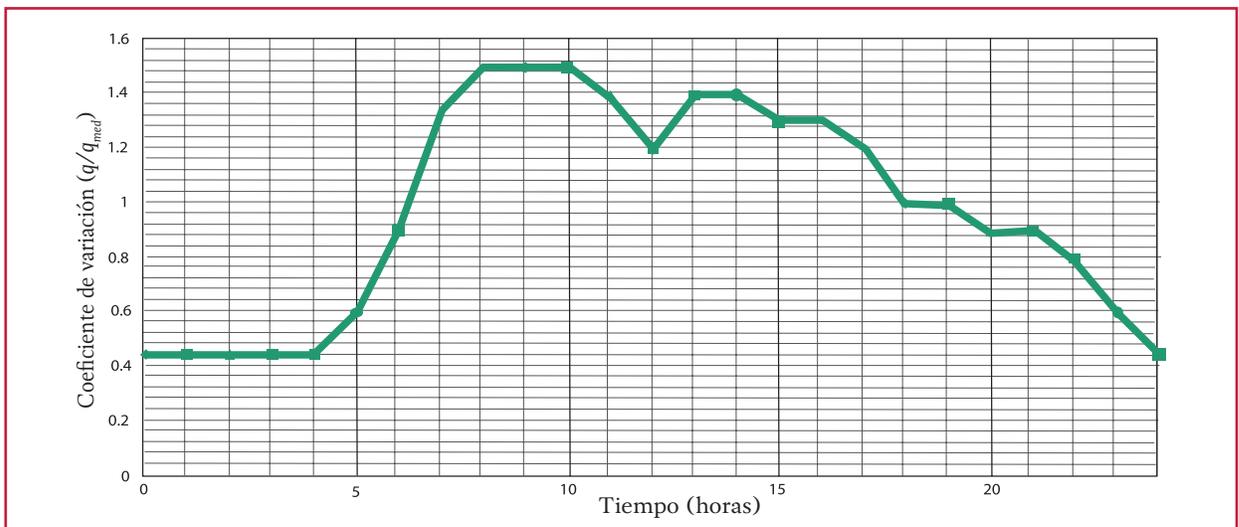


Tabla 3.13 Coeficientes de variación horaria para pequeñas comunidades

t (h)	q/q_{med}	t (h)	q/q_{med}
0	0.45	12	1.20
1	0.45	13	1.40
2	0.45	14	1.40
3	0.45	15	1.30
4	0.45	16	1.30
5	0.60	17	1.20
6	0.90	18	1.00
7	1.35	19	1.00
8	1.50	20	0.90
9	1.50	21	0.90
10	1.50	22	0.80
11	1.40	23	0.60

Ilustración 3.11 Coeficientes de variación horaria para pequeñas comunidades



donde:

$$q_a = c\sqrt{h^k - h_E} \quad \text{Ecuación 3.22}$$

3.2.2. ACCESORIOS EN LA RED

Para tomar en cuenta el funcionamiento de tanques de almacenamiento, bombas, descargas libres, gastos constantes de ingreso y válvulas se requiere plantear varias ecuaciones especiales.

Tanques de almacenamiento

Las ecuaciones para tubos con uno de sus extremos unido a un tanque, se definen de manera similar a la Ecuación 3.12, solo que en este caso el nodo s corresponde al nivel del tanque que se supone conocido. Además, el tanque solo proporciona agua a la red cuando su carga h_s es mayor que la de los nodos de la red (h_i) ligados al tanque y existe agua en el tanque.

El nivel en el tanque h_s se modifica en cada instante, de acuerdo con el ingreso desde el exterior Q_{ent} y el gasto que proporciona el tanque a la red Q_T^k , por lo cual se considera que el cambio en el tiempo de almacenamiento del tanque está dado por:

$$\frac{h_s^{k+1}A}{\Delta t} = Q_{ent} - Q_T^k \quad \text{Ecuación 3.23}$$

donde A es el área transversal del tanque.

Bombas

Para el análisis se un equipo de bombeo se emplea la curva característica carga-gasto de la bomba (Ilustración 3.13) y una aproximación lineal basada en la serie de Taylor. La ecuación que se emplea es:

$$Q_B^{k+1} = \delta^k + \beta^k h^k \quad \text{Ecuación 3.24}$$

donde:

$$\delta_B^k = Q_B^k - (a_1 + 2a_2 h^k) h^k$$

Ecuación 3.25

$$\beta^k = a_1 + 2a_2 h^k \quad \text{Ecuación 3.26}$$

La Ecuación 3.24 se utiliza cuando h está entre 0 y la carga máxima de la bomba.

Válvulas

Como en el caso estático, la pérdida de carga producida por el cierre o apertura de válvulas se toma en cuenta modificando el coeficiente de rugosidad del tubo.

La pérdida por cierre o apertura de una válvula h_L está dada por:

$$h_L = \frac{K_L Q^2}{2ga_v^2} \quad \text{Ecuación 3.28}$$

Ilustración 3.12 Consideraciones para las ecuaciones del tanque

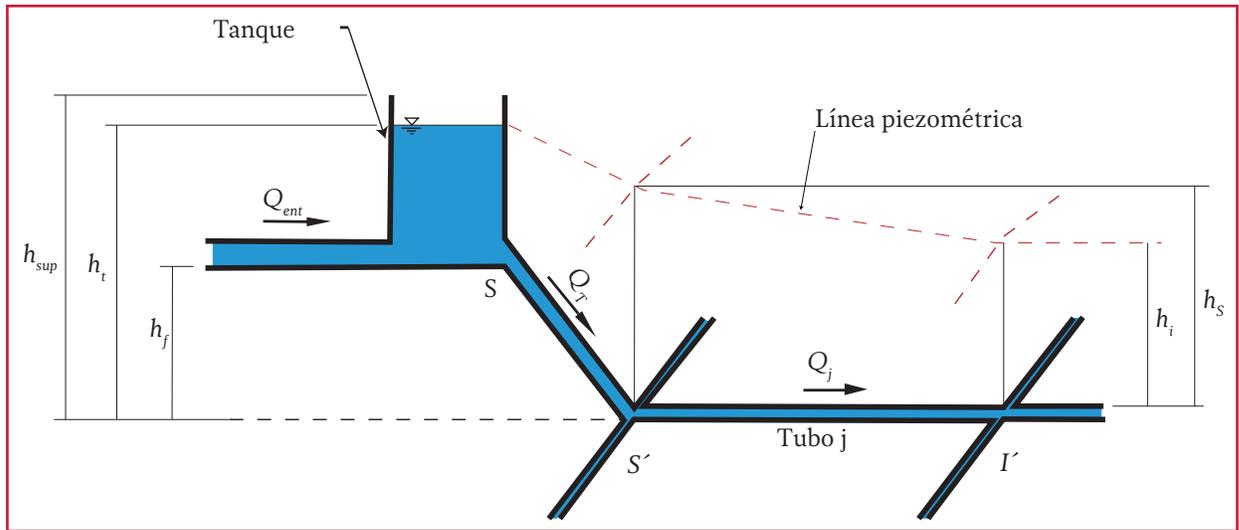
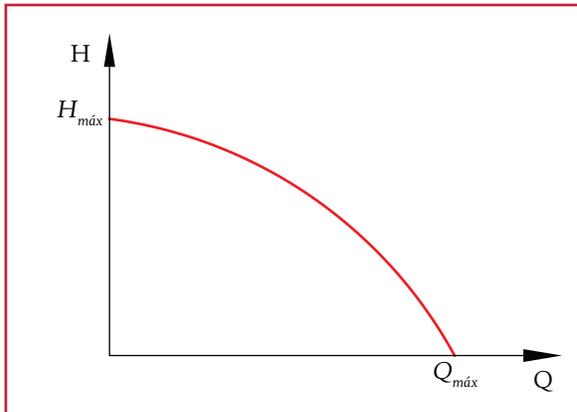


Ilustración 3.13 Curva característica carga-gasto de la bomba



donde K_L es un coeficiente que depende del tipo de válvula, del área de la válvula totalmente abierta a y del área parcialmente abierta de la válvula a_v .

Dado que la pérdida por fricción, según la fórmula de Darcy Weisbach, está dada por:

$$h_f = \frac{f' L Q^2}{D^2 g a^2} \quad \text{Ecuación 3.29}$$

donde L y D son la longitud y el diámetro de la tubería en cuestión, igualando h_f y h_L se obtiene:

$$f' = \frac{K_L D a^2}{L a_v^2} \quad \text{Ecuación 3.30}$$

De esta forma, el coeficiente de rugosidad de la tubería que tiene una válvula se aumenta en la cantidad f' .

3.2.3. ECUACIONES POR RESOLVER

En la Ilustración 3.14 se muestra un nodo de la red en el cual se conectan los tramos $N1$, $N2$ y $N3$; además, este nodo recibe suministros de un tanque T y de una bomba B y entrega el agua a un tanque de distribución D . La ecuación de continuidad en el nodo N para el instante k es:

$$Q_T^{k+1} + Q_B^{k+1} + q_{N1}^{k+1} = q_{N3}^{k+1} + q_{N2}^{k+1} + q_R^{k+1} \quad \text{Ecuación 3.31}$$

Al expresar los gastos q_{N1}^{k+1} , q_{N2}^{k+1} , y q_{N3}^{k+1} de acuerdo con la Ecuación 3.12, el gasto Q_B según la Ecuación 3.24 y q_R , según la Ecuación 3.19, como se apuntó anteriormente, resulta la Ecuación 3.34 (ver Ilustración 3.14).

En los otros nodos de la red se plantean ecuaciones similares, con lo que se establece un sistema de ecuaciones lineales. Este sistema tiene tantas

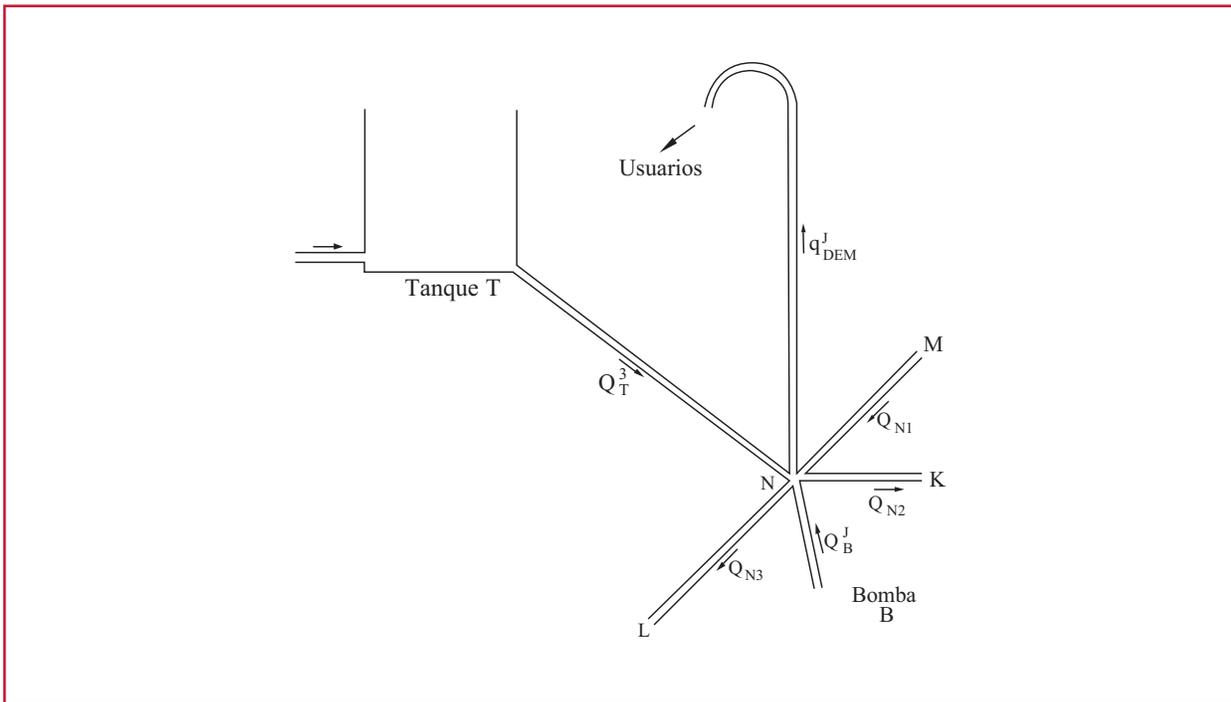
ecuaciones como nodos (excepto los de tanques) tenga la red.

Los modelos dinámicos, a diferencia de los estáticos, tienen la ventaja de obtener la variación del gasto y establecer las posibles zonas de déficit a lo largo del día. A continuación se presentan dos ejemplos de cálculo de una red dinámica.

$$(-\alpha_{N1}^k - \alpha_{N2}^k - \alpha_{N3}^k - \alpha_T^k - \beta^k - \tau_N^k)h_n^{k+1} + a_{N1}^k h_M^{k+1} + a_{N2}^k h_j^{k+1} + a_{N3}^k h_L^{k+1} = \gamma_{N1}^k + \gamma_{N2}^k + \gamma_{N3}^k + \gamma_T^k + \delta^k + \rho_N^k$$

Ecuación 3.34

Ilustración 3.14 Nodo N de la red



3.2.4. EJEMPLO 3 RED DINÁMICA ABIERTA

Simular el flujo en la red del ejemplo 1. El gasto de demanda de los nodos varía a lo largo del día en flujo no permanente de acuerdo con la Ilustración 3.15.

Para realizar la modelación dinámica se utiliza el programa Epanet 2.0®, el cual permite resolver los sistemas de ecuaciones presentados en los apartados 3.2.1, 3.2.2 y 3.2.3.

Los resultados de la simulación se presentan para el tiempo $t = 11:00$ h, en la Tabla 3.14 y la Tabla 3.15 muestra la carga sobre el terreno, la

Ilustración 3.15 Trazo de la red para ejemplo 3 en Epanet 2.0®

carga piezométrica, ambos en metros y el gasto demandado en L/s.

Los resultados de la simulación se presentan para el tiempo $t = 20:00$ h, en la Tabla 3.16 y la Tabla 3.17 muestra la carga sobre el terreno, la carga piezométrica, ambos en metros y el gasto demandado en L/s.

Con programas de cómputo como este, se puede evaluar el comportamiento de los parámetros durante el periodo de simulación. Ejemplo: la Ilustración 3.18 muestra la evolución de la presión en el nodo 2, durante el intervalo de simulación (24 horas) así como la velocidad en la tubería 2 que alimenta a dicho nodo.

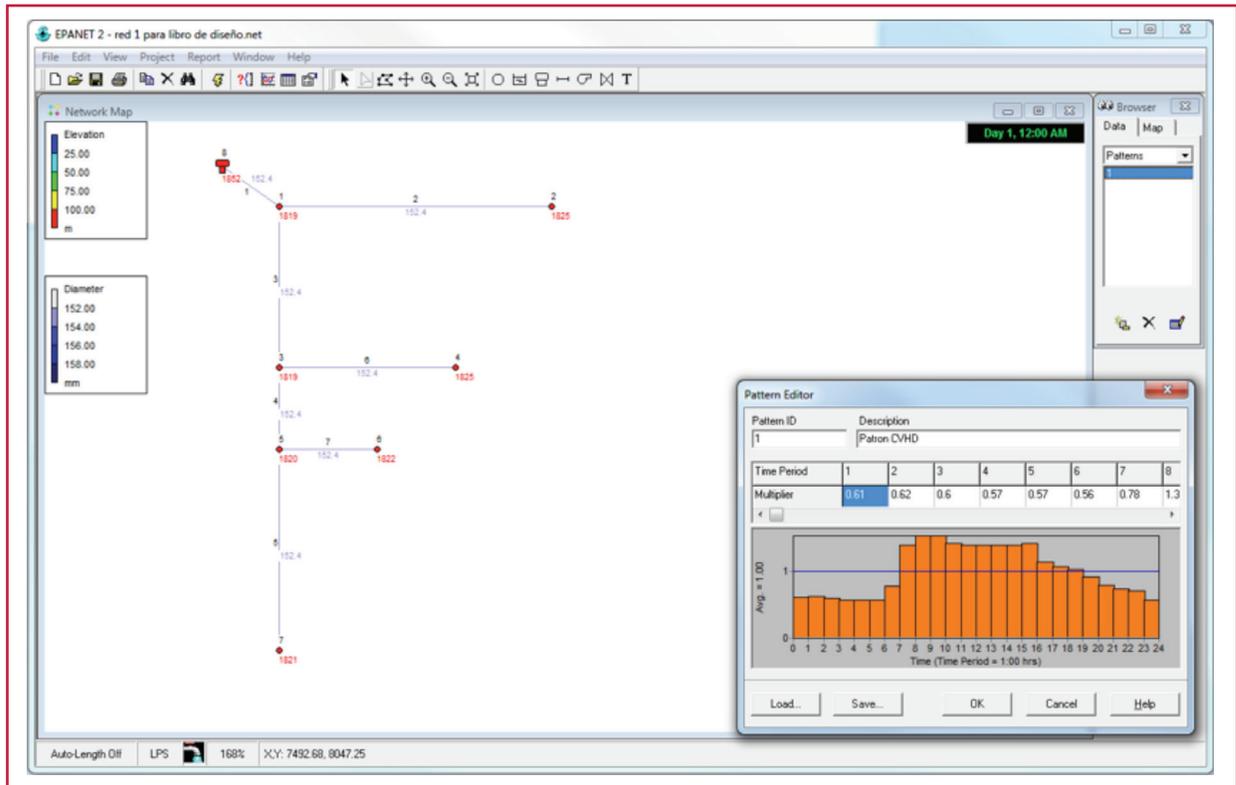


Ilustración 3.16 Resultados de la simulación en los nodos del funcionamiento hidráulico de la red a las 11:00 h

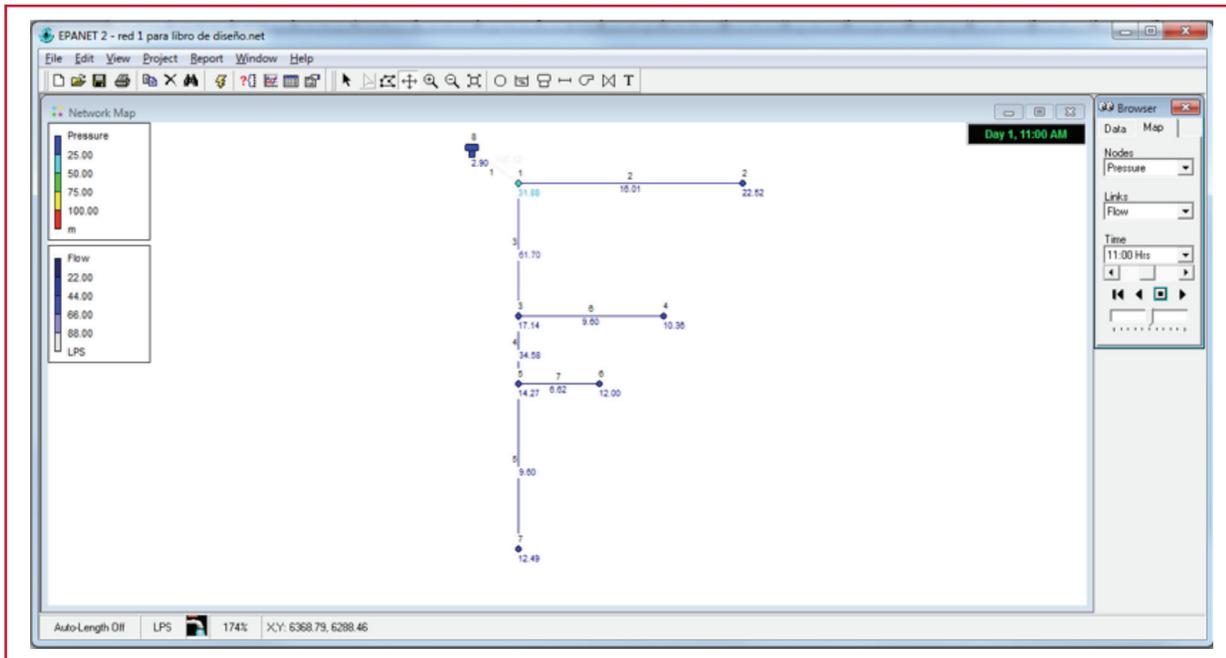


Tabla 3.14 Resultados de la simulación en los nodos del funcionamiento hidráulico de la red a las 11:00 h

Nodo	Carga	Elevación	Presión	Demanda
	msnm	msnm	m	L/s
1	1 850.88	1 819	31.88	22.41
2	1 847.52	1 825	22.52	16.01
3	1 836.14	1 819	17.14	17.51
4	1 835.36	1 825	10.36	9.6
5	1 834.27	1 820	14.27	18.35
6	1 834.00	1 822	12	6.62
7	1 833.49	1 821	12.49	9.6

Tabla 3.15 Resultados de la simulación en la tubería del funcionamiento hidráulico de la red a las 11:00 h

Tubería	Longitud	Diámetro	Flujo	Velocidad
	m	mm	L/s	m/s
1	30	152.4	100.12	5.49
2	750	152.4	16.01	0.88
3	270	152.4	61.7	3.38
4	100	152.4	34.58	1.9
5	450	152.4	9.6	0.53
6	450	152.4	9.6	0.53
7	310	152.4	6.62	0.36

Ilustración 3.17 Simulación en los nodos del funcionamiento hidráulico de la red a las 20:00 h

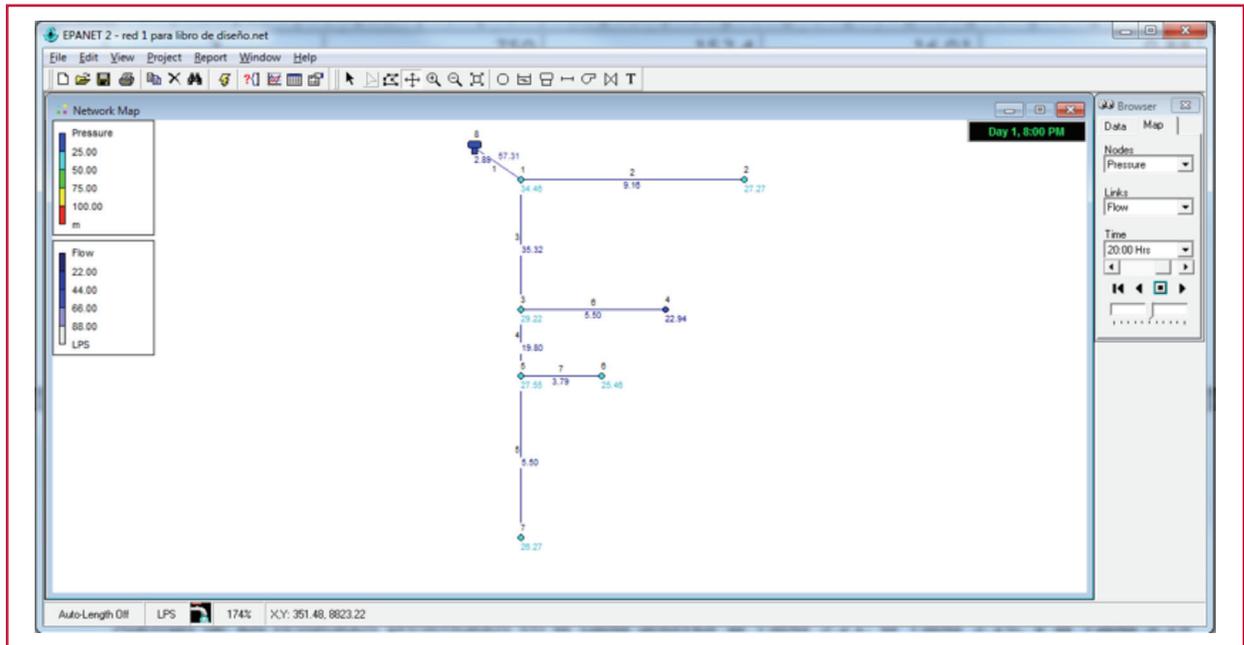


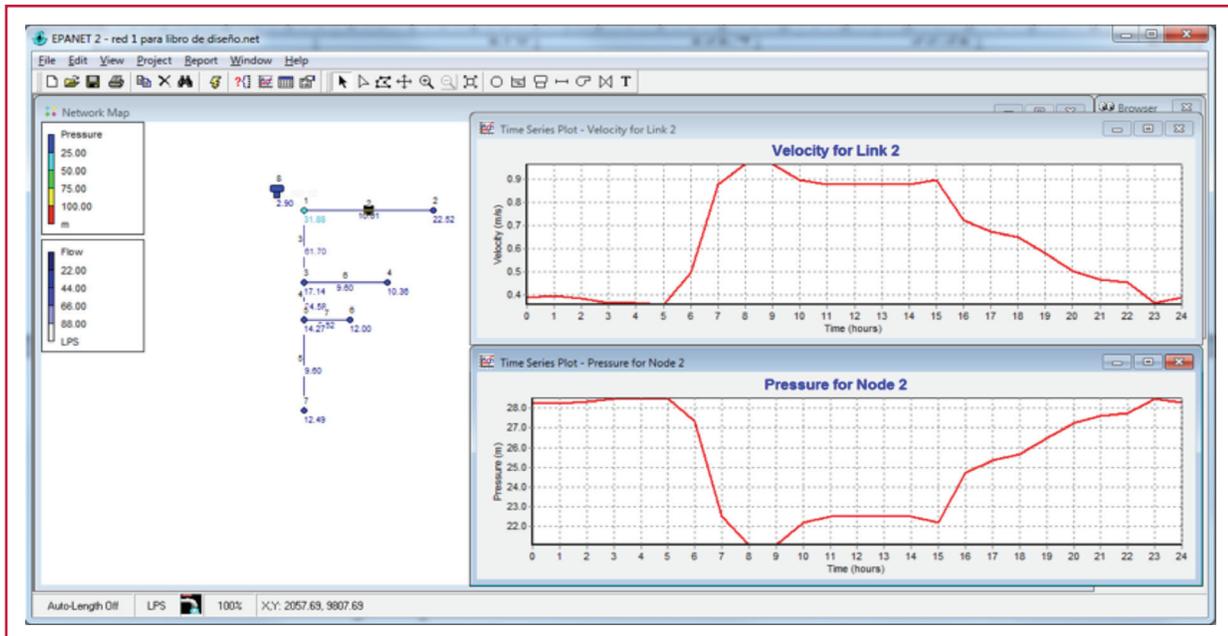
Tabla 3.16 Resultados de la simulación en los nodos del funcionamiento hidráulico de la red a las 20:00 h

Nodo	Carga	Elevación	Presión	Demanda
	msnm	msnm	m	L/s
1	1 853.46	1819	34.46	12.83
2	1 852.27	1825	27.27	9.16
3	1 848.22	1819	29.22	10.03
4	1 847.94	1825	22.94	5.5
5	1 847.55	1820	27.55	10.51
6	1 847.46	1822	25.46	3.79
7	1 847.27	1821	26.27	5.5

Tabla 3.17 Resultados de la simulación en las tuberías del funcionamiento hidráulico de la red a las 20:00 h

Tubería	Longitud	Diámetro	Flujo	Velocidad
	m	mm	l/s	m/s
1	30	152.4	57.31	3.14
2	750	152.4	9.16	0.5
3	270	152.4	35.32	1.94
4	100	152.4	19.8	1.09
5	450	152.4	5.5	0.3
6	450	152.4	5.5	0.3
7	310	152.4	3.79	0.21

Ilustración 3.18 Velocidad en el tramo 2 y presión en el nodo 2



3.3. RECOMENDACIONES EN LA ELECCIÓN DE UN PROGRAMA DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA

La elección de un programa de cómputo, para el diseño de redes de distribución depende del tamaño y la complejidad de la red a diseñar y del impacto que pueda tener en el costo total del proyecto. A continuación se presenta una serie de recomendaciones para tomar en cuenta, antes de adquirir un programa de simulación hidráulica para el diseño de redes de distribución:

- Existen programas que son gratuitos. Esto alivia la inversión requerida y permite cuidar los recursos de la institución. Incluso algunos de esos modelos o programas son compatibles con programas más robustos, con los cuales se puede iniciar el diseño y después mi-

grar a un programa más completo. Lo anterior es de gran importancia porque se tiene la creencia de que cuanto más económico el modelo, más limitado. De hecho, la mayoría de los programas modernos parten de un modelo gratuito

- Además de la adquisición del programa, se deberá considerar también el costo por la asesoría o capacitación por parte de la empresa distribuidora del programa. Por lo anterior, se deberá preferir aquellas empresas que tengan personal calificado en México, para reducir costos en las asesorías, pues las provenientes del exterior son muy costosas
- Elegir un programa compatible con otros programas de su tipo. Algunos paquetes de cómputo, permiten la migración de datos desde planos y bases de datos, lo cual facilita el proceso de integración del modelo. Por otra parte existen aquellos que generan archivos de salida que

facilitan la elaboración de planos, realizan cuantificaciones de volúmenes de excavación, rellenos, cantidad de piezas especiales y otros procesos que facilitan la elaboración del proyecto ejecutivo. Sin embargo mientras más herramientas tenga el programa, el costo es mayor y para el diseño de redes pequeñas, el utilizar este tipo de programas podría resultar inviable económicamente

El libro *Modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución*, del MAPAS, presenta los mecanismos para elaborar modelos de simulación que ayudan al diseño de redes de nueva creación y de redes existentes.

3.4. DISEÑO DE TANQUES

3.4.1. LOCALIZACIÓN DE LOS TANQUES

La selección del sitio más adecuado para ubicar un tanque de regulación se obtiene tras la consideración de un conjunto de factores que muy a menudo son contrapuestos entre sí, lo cual exige un esfuerzo por parte del proyectista para conciliar los detalles contrapuestos del proyecto. Estos factores son, entre otros, los siguientes:

- Es preferible que la alimentación del tanque se efectúe por gravedad, dada su mayor economía. Esta condición puede cumplirse solo en ocasiones y en terrenos accidentados, pues en terrenos planos es necesario recurrir al bombeo
- La alimentación de los tanques a la red de distribución se debe efectuar por gravedad, por lo que el tanque debe tener la suficiente altura para asegurar una

presión suficiente en cualquier instante y en todos los puntos de la red. Es conveniente elevar el tanque algunos centímetros (según proyecto) sobre la cota estrictamente necesaria, para prever tanto incrementos de consumo como disminución del diámetro, por incrustación de la tubería

- La evaluación del impacto ambiental que originará el proyecto

La Norma Oficial Mexicana NOM-007-CNA-1997, denominada Sector Agua Requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques, establece los requisitos de seguridad que deben cumplir los tanques con capacidad de 3 000 m³ o mayores.

Entre otros puntos, esta Norma establece que en el lugar donde se localizará el tanque se debe determinar la zona de afectación por el súbito vertido de agua, en caso de una posible falla total o parcial del tanque. Así se evalúan daños a zonas urbanas, industriales, vías de comunicación y al ambiente.

Asimismo, se especifica que el tanque debe estar constituido por varias celdas independientes, con el fin de reducir los riesgos por falla del tanque y para facilitar las maniobras de mantenimiento.

Para su construcción, en ningún caso es aceptable utilizar proyectos tipo o adecuaciones de estos.

Por otro lado, la Norma establece que los tanques deben ser provistos de un muro perimetral adicional para contener el agua vertida, en caso de una falla del tanque.

3.4.2. DATOS TOPOGRÁFICOS

Al elegir el sitio donde ubicar un tanque, es conveniente considerar que se busca que la red de distribución sea lo más económica posible y la máxima uniformidad de presiones en toda la zona abastecida, lo que se conseguirá si se sitúa el tanque en el baricentro (centroide) de la misma. En caso de que las condiciones locales impidan cumplir este requisito, se seleccionará la elevación del terreno más próxima a dicho punto de los que rodean a la población.

Para la operación de los tanques alimentadores se debe señalar un límite mínimo y otro máximo, en función de las presiones.

El límite mínimo se fija considerando que con diámetros pequeños de tubería en la red, se consiguen cargas mínimas en la población, del orden de 0.1 mPa (10 m), según sea el tipo de las construcciones.

Cuando se tengan desniveles mayores a 50 m, es conveniente ubicar varios tanques para servir zonas determinadas; estos se interconectan ya sea por gravedad, si así es el abastecimiento, o por tubería de impulsión, si el desnivel no permite lo primero. Otra posibilidad es la colocación de válvulas reductoras de presión para servir por zonas, lo cual no es aconsejable dentro de la red, pero sí, si son redes independientes sobre la misma conducción general.

3.4.3. CAPACIDAD DE LOS TANQUES DE REGULACIÓN

La capacidad de los tanques de regulación queda definida por las necesidades de consumo de las localidades por servir. En localidades urbanas grandes y principalmente en las ciudades

de gran importancia comercial, industrial y turística, se deberá hacer un estudio adecuado que tome en cuenta, además de la capacidad de regulación, un volumen de reserva para cubrir demandas contra incendio, interrupciones frecuentes de energía eléctrica o demandas extraordinarias que se presenten durante la época de máxima concentración de población flotante.

3.4.4. COEFICIENTE DE REGULACIÓN

La capacidad del tanque está en función del gasto máximo diario y la ley de demandas de la localidad, calculándose ya sea por métodos analíticos o gráficos.

El coeficiente de regulación está en función del tiempo (número de horas por día) de alimentación de las fuentes de abastecimiento al tanque, requiriéndose almacenar el agua en las horas de baja demanda, para distribuirla en las de alta demanda. Tomando como referencia las curvas de variación del consumo promedio de la Ilustración 3.9, Ilustración 3.10 e Ilustración 3.11, se realizó el cálculo para determinar los coeficientes de regulación, en el que se consideró abastecimiento durante las 24 horas del día. En dichos estudios se varió el tiempo de abastecimiento, analizando 20 y 16 horas por día. Tomando en cuenta la variación horaria de la demanda, resulta que los más convenientes para estos casos de bombeo son:

- Para 20 horas de bombeo: de las 4 a las 24 horas
- Para 16 horas de bombeo: de las 5 a las 21 horas

Cuando se modifican los horarios de bombeo a un periodo menor de 24 horas/día, se debe cambiar

el gasto de diseño de la fuente de abastecimiento y conducción incrementándolo proporcionalmente a la reducción del tiempo de bombeo. El gasto de diseño se obtiene con la expresión:

$$Q_d = \frac{24Q_{md}}{t_b} \quad \text{Ecuación 3.32}$$

donde:

- Q_d = el gasto de diseño, en L/s
- Q_{md} = el gasto máximo diario, en L/s
- t_b = el tiempo de bombeo, en h/día

Para cualquier alternativa de reducción del tiempo de bombeo, se debe considerar que habrá un incremento en los costos de la infraestructura de la conducción y fuente de abastecimiento, esta última deberá satisfacer el incremento de gasto.

Para el cálculo de los coeficientes de regulación se recomienda utilizar el siguiente método:

El cálculo de los coeficientes de regulación se basa en el método de porcentajes de gastos horarios respecto del gasto medio diario.

El procedimiento de cálculo se presenta a continuación:

1	2	3	4	5
Horas	Entrada por ciento Q bombeo	Salida por ciento Q salida	Diferencia ent-sal	Diferencia acumulada

- a. En la columna 1 se enlista el tiempo en horas
- b. En la columna 2 se anota la ley de entrada (está en función del volumen de agua que se deposita en los tanques en la uni-

dad de tiempo considerada, por el o los diferentes conductos de entrada)

Se puede considerar diferentes intervalos de bombeo, dependiendo del gasto medio de producción de las diferentes fuentes de captación.

- c. En la columna 3 se anota la ley de salida en forma similar a la anterior (porcentajes de gastos horarios respecto del gasto medio horario)
- d. En la columna 4 se anota la diferencia algebraica entre la entrada y la salida
- e. Finalmente, en la columna 5 se anotan las diferencias acumuladas resultantes de la suma algebraica de las diferencias de la columna 4

De los valores de la columna de diferencias acumuladas, se deduce el máximo porcentaje excedente y el máximo porcentaje faltante, por lo que:

$$R = 3.6 \frac{Máx\ excedente - Máx\ faltante}{100}$$

Ecuación 3.33

donde:

- R = el coeficiente de regulación
- $Máx\ excedente$ = el valor máximo positivo de las diferencias acumuladas
- $Máx\ faltante$ = el valor máximo negativo de las diferencias acumuladas

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo del coeficiente de regulación para un intervalo de bombeo de 18 horas (de las 6 a las 23 horas,

observe la Tabla 3.18). Los datos de variación de la demanda que se utilizan en el cálculo corresponden a los de la Ilustración 3.10.

donde:

$$\text{Máx. excedente} = 65.04$$

$$\text{Máx. faltante} = -314.4$$

Aplicando la ecuación 3.34 se obtiene:

$$R = 3.6 \frac{65.04 - (-314.4)}{100} = 13.66$$

3.4.5. DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE REGULACIÓN

Para determinar la capacidad del tanque de regulación se utiliza la siguiente ecuación, más el volumen considerado para situaciones de emergencia.

$$C = RQ_{md} \quad \text{Ecuación 3.35}$$

donde:

C = capacidad del tanque, en m^3

R = coeficiente de regulación

Q_{md} = gasto máximo diario, en L/s

Retomando los datos del ejemplo 1, donde el gasto medio resulta 72.55 L/s, entonces la capacidad necesaria en el tanque resulta:

$$C = RQ_{md} = 13.66(72.55) = 9.91 m^3$$

La capacidad de regulación varía si se cambia el horario de alimentación (o bombeo), aun cuando permanezca constante el número de horas de alimentación. Si se bombeara 20 horas, de las 0 a las 20 horas, el coeficiente de regulación resulta 12.57.

3.4.6. ALTERNATIVAS DE DIMENSIONAMIENTO

Cuando no se conozcan los coeficientes de demanda de una localidad en particular, se recomienda aplicar los presentados en la tabla 3.18. De la misma manera, en la tabla 3.19 se muestran los valores de coeficientes de regulación para la ciudad de México, para diferentes tiempos de bombeo. Es importante tomar en consideración para el cálculo de la capacidad de los tanques, el número de horas de alimentación o bombeo, así como su horario, el cual estará en función de las políticas de operación y los costos de energía eléctrica, que son mayores en las horas de máxima demanda (horas pico).

Tabla 3.18 Coeficiente de regulación para suministro de 18 horas (de las 6 a las 23 horas)

Hora	Suministro	Demanda		
		Coeficiente de variación	Diferencia	Diferencia acumulada
	% de Q_{med}	%	%	%
1	0.00 %	60.60 %	-60.60 %	-60.60 %
2	0.00 %	61.60 %	-61.60 %	-122.20 %
3	0.00 %	63.30 %	-63.30 %	-185.50 %
4	0.00 %	63.70 %	-63.70 %	-249.20 %
5	0.00 %	65.10 %	-65.10 %	-314.30 %**
6	133.33 %	82.80 %	50.53 %	-263.77 %
7	133.33 %	93.80 %	39.53 %	-224.24 %
8	133.33 %	119.90 %	13.43 %	-210.81 %
9	133.33 %	130.70 %	2.63 %	-208.18 %
10	133.33 %	137.20 %	-3.87 %	-212.05 %
11	133.33 %	134.30 %	-0.97 %	-213.02 %
12	133.33 %	132.90 %	0.43 %	-212.59 %
13	133.33 %	128.80 %	4.53 %	-208.06 %
14	133.33 %	126.60 %	6.73 %	-201.33 %
15	133.33 %	121.60 %	11.73 %	-189.60 %
16	133.33 %	120.10 %	13.23 %	-176.37 %
17	133.33 %	119.60 %	13.73 %	-162.64 %
18	133.33 %	115.10 %	18.23 %	-144.41 %
19	133.33 %	112.10 %	21.23 %	-123.18 %
20	133.33 %	105.60 %	27.73 %	-95.45 %
21	133.33 %	90.10 %	43.23 %	-52.22 %
22	133.33 %	78.40 %	54.93 %	2.71 %
23	133.33 %	71.00 %	62.33 %	65.04 %*
24	133.33 %	65.10 %	-65.10 %	-0.06 %

Tabla 3.19 Coeficientes de regulación

Tiempo de suministro al tanque (h)	Coeficiente de regulación
24	11.0
20 (de las 4 a las 24 horas)	9.0
16 (de las 5 a las 21 horas)	1.9.0

Tabla 3.20 Coeficientes de regulación para la ciudad de México

Tiempo de suministro al tanque (h)	Coeficiente de regulación
24	14.3
20 (de las 4 a las 24 horas)	9.6
16 (de las 5 a las 21 horas)	17.3



CONCLUSIONES

Este documento es la segunda versión del libro *Redes de distribución* y tiene como principal objetivo brindar apoyo al profesional encargado de diseñar o analizar el funcionamiento de las redes de distribución de agua potable. Puede ser de gran ayuda para los organismos operadores en la selección de los componentes de una red de distribución de agua potable, que aseguren una adecuada vida útil y costos convenientes en la instalación y reparación, desde la fuente de captación hasta la toma domiciliaria.

El presente libro es también un instrumento de referencia y consulta de proyectistas, constructores, dependencias, empresas y organismos operadores relacionados con el sector agua potable para la elaboración de los proyectos. En él se ha recopilado el material y las normas actualizadas, tanto nacionales como extranjeras, que rigen en la materia y que se consideran útiles para el diseño de redes de distribución, incluyendo recomendaciones para lograr un buen diseño, y tablas e ilustraciones como apoyo visual de diseño al proyectista. Asimismo, se han anotado las referencias de la literatura consultada y que puede resultar de ayuda al usuario para profundizar en algún tema específico.

En general, la base para el cálculo hidráulico son los modelos de simulación matemática para diferentes estados que se producen en la red de distribución. De estas simulaciones se extraen resultados que serán considerados en la planificación, operación y gestión de la red. El análisis hidráulico de las redes de distribución puede dividirse en dos: red de distribución nueva y aquella que se encuentra en servicio.

En caso de tener una red nueva, la información existente proviene de los parámetros de diseño planteados por el proyectista; lo contra-

rio ocurre con una red en servicio, donde los parámetros están en función del propio funcionamiento de esta. Conocer qué parámetros varían y las circunstancias que originan estas variaciones es fundamental para calcular dichos valores. Para ello se recomienda atender las consideraciones propuestas en el libro *Modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución* del MAPAS. Dicho libro, a diferencia de un manual de usuario de algún programa de simulación, pretende abordar cómo estimar los parámetros de campo y con ello obtener mejores resultados, además de un conocimiento profundo de la red de distribución analizada.

Con el surgimiento de los modelos de simulación aplicados a las redes de distribución, diferentes firmas de ingeniería comercializan sus productos dentro del mercado. Esto cobrará importancia debido a que el usuario, de acuerdo con sus necesidades específicas, debe decidir con mayor precisión cuál sería la elección final.

Recuerde que los procedimientos, datos, modelos matemáticos y programas de cómputo presentados en este libro obedecen a la experiencia vertida a lo largo del tiempo por parte de los especialistas en la materia y de los proyectos en que se han trabajado. Sin embargo, en ningún caso debe considerarse esta información como reglamento o norma oficial; más bien debe ser considerada como una guía para el diseño de redes de distribución de agua potable. Considérese que ninguna red de distribución de agua potable es igual a otra; los procedimientos, datos y resultados obtenidos no pueden exportarse de una a otra.

Cabe destacar que para lograr un diseño eficiente y económico de una red de distribución debe analizarse una serie de opciones; los métodos y programas de cómputo permiten el análisis de solo una opción en particular. Por este motivo, el diseñador o analista debe apoyarse en su juicio y experiencia, así como en las condiciones locales y de operación, para determinar la opción más adecuada.

BIBLIOGRAFÍA

- Boulos, P., Lansey, K. & Karney, B. (2004). *Comprehensive Water Distribution System Analysis Handbook for Engineers and Planners*. Pasadena: MWH Soft, Inc.
- Boxall, J. B. y Saul, A. J. (2005). *Modeling Discoloration in Potable Water Distribution Systems*. *Journal of Environmental Engineering* 131(5): 716-725.
- Fuentes, O. y Fuentes, G. (1992). *Funcionamiento hidráulico a presión en régimen no permanente de una red de tuberías*, Memorias del XV Congreso latinoamericano de hidráulica, Cartagena, Colombia.
- Guerrero, O. (2002). *Modelo hidráulico para redes de agua potable*. Ingeniería hidráulica en México XVII(1): 31-48.
- Hallam, N., Hua, F., West, J., Forster, C. & Simms, J. (2003). *Bulk Decay of Chlorine in Water Distribution Systems*. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE 129(1): 78-81.
- Hallam, N., West, J., Forster, C., Powell, J. & Spencer, I. (2002). *The Decay of Chlorine Associated with the Pipe Wall in Water Distribution Systems*. *Water Research* 36(14): 3479-3488.
- Ochoa, L. y Bourguett, V. (2001). *Reducción integral de pérdidas de agua potable*. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Moody, L. (1944), *Friction factors for pipe flow*, *Transactions of the ASME* 66 (8): 671-684
- Sotelo, G. (2002). *Hidráulica General, Fundamentos*. México, D.F.: Editorial Limusa. Vol 1: 277-286.
- Swamee, P. y Jain, A. (1976). *Explicit Equations for Pipe-flow Problems*. *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE 102(5): 657-664.
- Wood, D. J. y Ormsbee, L. E. (1989). *Supply Identification for Water Distribution Systems*. *Journal (American Water Works Association)* 81(7): 74-80.



TABLA DE CONVERSIONES DE UNIDADES DE MEDIDA

Sigla	Significado	Sigla	Significado
mg	miligramo	kg/m ³	kilogramo por metro cúbico
g	gramo	l/s	litros por segundo
kg	kilogramo	m ³ /d	metros cúbicos por día
mm	milímetro	Sm ³ /h	condiciones estándar de metro cúbico por hora
cm	centímetro	Scfm	condiciones estándar de pies cúbicos por minuto
m	metro	°C	grados Celsius
ml	mililitro	psia	libra-fuerza por pulgada cuadrada absoluta
l	litro	cm/s	centímetro por segundo
m ³	metro cúbico	m/s	metro por segundo
s	segundo	HP	caballo de fuerza (medida de energía)
h	hora	kW	kilowatt
d	día	UNT	unidades nefelométricas de turbiedad
mg/l	miligramo por litro		

Longitud

Sistema métrico	Sistema Inglés	Siglas
1 milímetro (mm)	0.03	in
1 centímetro (cm) = 10 mm	0.39	in
1 metro (m) = 100 cm	1.09	yd
1 kilómetro (km) = 1 000 m	0.62	mi
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 pulgada (in)	2.54	cm
1 pie (ft) = 12 pulgadas	0.30	m
1 yarda (yd) = 3 pies	0.91	m
1 milla (mi) = 1 760 yardas	1.60	km
1 milla náutica (nmi) = 2 025.4 yardas	1.85	km

Superficie

Sistema métrico	Sistema inglés	Siglas
1 cm ² = 100 mm ²	0.15	in ²
1 m ² = 10 000 cm ²	1.19	yd ²
1 hectárea (ha) = 10 000 m ²	2.47	acres
1 km ² = 100 ha	0.38	mi ²
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 in ²	6.45	cm ²
1 ft ² = 144 in ²	0.09	m ²
1 yd ² = 9 ft ²	0.83	m ²
1 acre = 4 840 yd ²	4 046.90	m ²
1 milla ² = 640 acres	2.59	km ²

Volumen/capacidad

Sistema métrico	Sistema inglés	Siglas
1 cm ³	0.06	in ³
1 dm ³ = 1 000 cm ³	0.03	ft ³
1 m ³ = 1 000 dm ³	1.30	yd ³
1 litro (L) = 1 dm ³	1.76	pintas
1 hectolitro (hL) = 100 L	21.99	galones
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 in ³	16.38	cm ³
1 ft ³ = 1 728 in ³	0.02	m ³
1 onza fluida EUA = 1.0408 onzas fluidas RU	29.57	mL
1 pinta (16 onzas fluidas) = 0.8327 pintas RU	0.47	L
1 galón EUA = 0.8327 galones RU	3.78	L

Masa/peso

Sistema métrico	Sistema inglés	
1 miligramo (mg)	0.0154	grano
1 gramo (g) = 1 000 mg	0.0353	onza
1 kilogramo (kg) = 1 000 g	2.2046	libras
1 tonelada (t) = 1000 kg	0.9842	toneladas larga
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 onza (oz) = 437.5 granos	28.35	g
1 libra (lb) = 16 oz	0.4536	kg
1 stone = 14 lb	6.3503	kg
1 hundredweight (cwt) = 112 lb	50.802	kg
1 tonelada larga = 20 cwt	1.016	t

Temperatura

$$^{\circ}C = \frac{5}{9}(^{\circ}F -$$

$$^{\circ}F = \frac{9}{5}(^{\circ}C) + 32$$

Otros sistemas de unidades		Multiplicado por	Sistema Internacional de Unidades (SI)	
Unidad	Símbolo	Factor de conversión	Se convierte a	
Longitud				
Pie	pie, ft.,'	0.30	metro	m
Pulgada	plg, in,"	25.40	milímetro	mm
Presión/esfuerzo				
Kilogramo fuerza/cm ²	kg _f /cm ²	98 066.50	pascal	Pa
Libra/pulgada ²	lb/ plg ² , PSI	6 894.76	pascal	Pa
atmósfera técnica	at	98 066.50	pascal	Pa
metro de agua	m H ₂ O (mca)	9 806.65	pascal	Pa
mm de mercurio	mm Hg	133.32	pascal	Pa
bar	bar	100 000.00	pascal	Pa
Fuerza/ peso				
kilogramo fuerza	kg _f	9.80	newton	N
Masa				
libra	lb	0.45	kilogramo	kg
onza	oz	28.30	gramo	g
Peso volumétrico				
kilogramo fuerza/m ³	kg _f /m ³	9.80	N/m ³	N/m ³
libra /ft ³	lb/ft ³	157.08	N/m ³	N/m ³
Potencia				
caballo de potencia	CP, HP	745.69	watt	W
caballo de vapor	CV	735.00	watt	W
Viscosidad dinámica				
poise	μ	0.01	pascal segundo	Pa s
Viscosidad cinemática				
viscosidad cinemática	v	1	stoke	m ² /s (St)
Energía/ Cantidad de calor				
caloría	cal	4.18	joule	J
unidad térmica británica	BTU	1 055.06	joule	J
Temperatura				
grado Celsius	°C	tk=tc + 273.15	grado Kelvin	K

Nota: El valor de la aceleración de la gravedad aceptado internacionalmente es de 9.80665 m/s²

Longitud								
de / a	mm	cm	m	km	mi	milla náutica (nmi)	ft	in
mm	1.000	0.100	0.001					
cm	10000	1.000	0.010				0.033	0.394
m	1 000.000	100.000	1.000	0.001			3.281	39.370
km			0.001	1.000	0.621	0.540	3 280.83	0.039
mi			1 609.347	1.609	1.000	0.869	5 280.000	
nmi			1 852.000	1.852	1.151	1.000	6 076.115	
ft		30.480	0.305				1.000	12.000
in	25.400	2.540	0.025				0.083	1.000

Superficie								
de / a	cm ²	m ²	km ²	ha	mi ²	acre	ft ²	in ²
cm ²	1.00						0.001	0.155
m ²	10 000.00	1.00					10.764	1 550.003
km ²			1.000	100.000	0.386	247.097		
ha		10 000.00	0.010	1.000	0.004	2.471		
mi ²			2.590	259.000	1.000	640.000		
acre		4 047.00	0.004	0.405	0.002	1.000		
ft ²	929.03	0.09					1.000	0.007
in ²	6.45						144.000	1.000

Volumen								
de / a	cm ³	m ³	L	ft ³	gal. EUA	acre-ft	in ³	yd ³
cm ³	1.000		0.001				0.061	
m ³		1.000	1 000.000	35.314	264.200			1.307
L	1 000.000	0.001	1.000	0.035	0.264		61.023	
ft ³		0.028	28.317	1.000	7.481			0.037
gal. EUA		0.004	3.785	0.134	1.000		230.974	
acre-ft		1 233.490				1.000		
in ³	16.387		0.016		0.004		1.000	
Yd ³		0.765		27.000				1.000

Gasto								
de / a	l/s	cm ³ /s	gal/día	gal/min	l/min	m ³ /día	m ³ /h	ft ³ /s
l/s	1.000	1 000.000		15.851	60.000	86.400	3.600	0.035
cm ³ /s	0.001	1.000	22.825	0.016	0.060	0.083		
gal/día		0.044	1.000			0.004		
gal/min	0.063	63.089	1 440.000	1.000	0.000	5.451	0.227	0.002
l/min	0.017	16.667	0.000	0.264	1.000	1.440	0.060	
m ³ /día	0.012	11.570	264.550	0.183	0.694	1.000	0.042	
m ³ /h	0.278		6 340.152	4.403	16.667	24.000	1.000	0.010
ft ³ /s	28.316			448.831	1 698.960	2 446.590	101.941	1.000

Eficiencia de pozo			
de	a	gal/min/pie	l/s/m
gal/min/pie		1.000	0.206
l/s/m		4.840	1.000

Permeabilidad							
de	a	cm/s	gal/día/Pie ²	millones gal/día/acre	m/día	pie/s	Darcy
cm/s		1.000	21 204.78		864.000	0.033	
gal/día/pie ²			1.000		0.041		0.055
millón gal/día/acre				1.000	0.935		
m/día		0.001	24.543	1.069	1.000		1.351
pie/s		30.480			26 334.72	1.000	
Darcy			18.200		0.740		1.000

Peso									
de	a	grano	gramo	kilogramo	libra	onza	tonelada corta	tonelada larga	tonelada métrica
Grano (gr)		1.000	0.065						
Gramo (g)		15.432	1.000	0.001	0.002				
Kilogramo (kg)			1 000.000	1.000	2.205	35.273			0.001
Libra (lb)			453.592	0.454	1.000	16.000			
Onza (oz)		437.500	28.350			1.000			
t corta				907.180	2 000.000		1.000		0.907
t larga				1 016.000	2 240.000		1.119	1.000	1.016
t métrica				1 000.000	2 205.000		1.101	0.986	1.000

Potencia									
de	a	CV	HP	kW	W	ft lb/s	kg m/s	BTU/s	kcal/s
CV		1.000	0.986	0.736	735.500	542.500	75.000	0.697	0.176
HP		1.014	1.000	0.746	745.700	550.000	76.040	0.706	0.178
kW		1.360	1.341	1.000	1 000.000	737.600	101.980	0.948	0.239
W				0.001	1.000	0.738	0.102		
ft lb/s					1.356	1.000	0.138	0.001	
kg m/s		0.013	0.013	0.009	9.806	7.233	1.000	0.009	0.002
BTU/s		1.434	1.415	1.055	1 055.000	778.100	107.580	1.000	0.252
kcal/s		5.692	5.614	4.186	4 186.000	3 088.000	426.900	3.968	1.000

Presión								
de	a	atmósfera	Kg/cm ²	lb/in ²	mm de Hg	in de Hg	m de H ₂ O	ft de H ₂ O
atmósfera		1.000	1.033	14.696	760.000	29.921	10.330	33.899
kg/cm ²		0.968	1.000	14.220	735.560	28.970	10.000	32.810
lb/in ²		0.068	0.070	1.000	51.816	2.036	0.710	2.307
mm de Hg		0.001	0.001	0.019	1.000	0.039	0.013	0.044
in de Hg		0.033	0.035	0.491	25.400	1.000	0.345	1.133
m de agua		0.096	0.100	1.422	73.560	2.896	1.000	3.281
ft de agua		0.029	0.030	0.433	22.430	0.883	0.304	1.000

Energía									
de	a	CV hora	HP hora	kW hora	J	ft.lb	kgm	BTU	kcal
CV hora		1.000	0.986	0.736				2 510.000	632.500
HP hora		1.014	1.000	0.746				2 545.000	641.200
kW hora		1.360	1.341	1.000				3 413.000	860.000
J					1.000	0.738	0.102		
ft.lb					1.356	1.000	0.138		
kgm					9.806	7.233	1.000		
BTU					1 054.900	778.100	107.580	1.000	0.252
kcal					4 186.000	3 087.000	426.900	426.900	1.000

Transmisividad				
de	a	cm ² /s	gal/día/pie	m ² /día
cm ² /s		1.000	695.694	8.640
gal/día/ft		0.001	1.000	0.012
m ² /día		0.116	80.520	1.000

Conversión de pies y pulgadas, a metros												
ft, in/m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0.000	0.025	0.051	0.076	0.102	0.127	0.152	0.178	0.203	0.229	0.254	0.279
1	0.305	0.330	0.356	0.381	0.406	0.432	0.457	0.483	0.508	0.533	0.559	0.584
2	0.610	0.635	0.660	0.686	0.711	0.737	0.762	0.787	0.813	0.838	0.864	0.889
3	0.914	0.940	0.965	0.991	1.016	1.041	1.067	1.092	1.117	1.143	1.168	1.194
4	1.219	1.245	1.270	1.295	1.321	1.346	1.372	1.397	1.422	1.448	1.473	1.499
5	1.524	1.549	1.575	1.600	1.626	1.651	1.676	1.702	1.727	1.753	1.778	1.803
6	1.829	1.854	1.880	1.905	1.930	1.956	1.981	2.007	2.032	2.057	2.083	2.108
7	2.134	2.159	2.184	2.210	2.235	2.261	2.286	2.311	2.337	2.362	2.388	2.413
8	2.438	2.464	2.489	2.515	2.540	2.565	2.591	2.616	2.642	2.667	2.692	2.718
9	2.743	2.769	2.794	2.819	2.845	2.870	2.896	2.921	2.946	2.972	2.997	3.023
10	3.048	3.073	3.099	3.124	3.150	3.175	3.200	3.226	3.251	3.277	3.302	3.327
11	3.353	3.378	3.404	3.429	3.454	3.480	3.505	3.531	3.556	3.581	3.607	3.632
12	3.658	3.683	3.708	3.734	3.759	3.785	3.810	3.835	3.861	3.886	3.912	3.937
13	3.962	3.988	4.013	4.039	4.064	4.089	4.115	4.140	4.166	4.191	4.216	4.242
14	4.267	4.293	4.318	4.343	4.369	4.394	4.420	4.445	4.470	4.496	4.521	4.547
15	4.572	4.597	4.623	4.648	4.674	4.699	4.724	4.750	4.775	4.801	4.826	4.851
16	4.877	4.902	4.928	4.953	4.978	5.004	5.029	5.055	5.080	5.105	5.131	5.156
17	5.182	5.207	5.232	5.258	5.283	5.309	5.334	5.359	5.385	5.410	5.436	5.461
18	5.486	5.512	5.537	5.563	5.588	5.613	5.639	5.664	5.690	5.715	5.740	5.766
19	5.791	5.817	5.842	5.867	5.893	5.918	5.944	5.969	5.994	6.020	6.045	6.071
20	6.096	6.121	6.147	6.172	6.198	6.223	6.248	6.274	6.299	6.325	6.350	6.375
21	6.401	6.426	6.452	6.477	6.502	6.528	6.553	6.579	6.604	6.629	6.655	6.680
22	6.706	6.731	6.756	6.782	6.807	6.833	6.858	6.883	6.909	6.934	6.960	6.985
23	7.010	7.036	7.061	7.087	7.112	7.137	7.163	7.188	7.214	7.239	7.264	7.290
24	7.315	7.341	7.366	7.391	7.417	7.442	7.468	7.493	7.518	7.544	7.569	7.595
25	7.620	7.645	7.671	7.696	7.722	7.747	7.772	7.798	7.823	7.849	7.874	7.899
26	7.925	7.950	7.976	8.001	8.026	8.052	8.077	8.103	8.128	8.153	8.179	8.204
27	8.230	8.255	8.280	8.306	8.331	8.357	8.382	8.407	8.433	8.458	8.484	8.509
28	8.534	8.560	8.585	8.611	8.636	8.661	8.687	8.712	8.738	8.763	8.788	8.814
29	8.839	8.865	8.890	8.915	8.941	8.966	8.992	9.017	9.042	9.068	9.093	9.119
30	9.144	9.169	9.195	9.220	9.246	9.271	9.296	9.322	9.347	9.373	9.398	9.423
31	9.449	9.474	9.500	9.525	9.550	9.576	9.601	9.627	9.652	9.677	9.703	9.728
32	9.754	9.779	9.804	9.830	9.855	9.881	9.906	9.931	9.957	9.982	10.008	10.033
33	10.058	10.084	10.109	10.135	10.160	10.185	10.211	10.236	10.262	10.287	10.312	10.338
34	10.363	10.389	10.414	10.439	10.465	10.490	10.516	10.541	10.566	10.592	10.617	10.643
35	10.668	10.693	10.719	10.744	10.770	10.795	10.820	10.846	10.871	10.897	10.922	10.947

La segunda columna es la conversión de pies a metros; las siguientes columnas son la conversión de pulgadas a metros que se suman a la anterior conversión.

Tabla de conversión de pulgadas a milímetros								
Pulgadas	0	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
0	0	3.175	6.35	9.525	12.7	15.875	19.05	22.225
1	25.4	28.575	31.75	34.925	38.1	41.275	44.45	47.625
2	50.8	53.975	57.15	60.325	63.5	66.675	69.85	73.025
3	76.2	79.375	82.55	85.725	88.9	92.075	95.25	98.425
4	101.6	104.775	107.95	111.125	114.3	117.475	120.65	123.825
5	127.0	130.175	133.35	136.525	139.7	142.875	146.05	149.225
6	152.4	155.575	158.75	161.925	165.1	168.275	171.45	174.625
7	177.8	180.975	184.15	187.325	190.5	193.675	196.85	200.025
8	203.2	206.375	209.55	212.725	215.9	219.075	222.25	225.425
9	228.6	231.775	234.95	238.125	241.3	244.475	247.65	250.825
10	254.0	257.175	260.35	263.525	266.7	269.875	273.05	276.225
11	279.4	282.575	285.75	288.925	292.1	295.275	298.45	301.625
12	304.8	307.975	311.15	314.325	317.5	320.675	323.85	327.025
13	330.2	333.375	336.55	339.725	342.9	346.075	349.25	352.425
14	355.6	358.775	361.95	365.125	368.3	371.475	374.65	377.825
15	381.0	384.175	387.35	390.525	393.7	396.875	400.05	403.225
16	406.4	409.575	412.75	415.925	419.1	422.275	425.45	428.625
17	431.8	434.975	438.15	441.325	444.5	447.675	450.85	454.025
18	457.2	460.375	463.55	466.725	469.9	473.075	476.25	479.425
19	482.6	485.775	488.95	492.125	495.3	498.475	501.65	504.825
20	508.0	511.175	514.35	517.525	520.7	523.875	527.05	530.225
21	533.4	536.575	539.75	542.925	546.1	549.275	552.45	555.625
22	558.8	561.975	565.15	568.325	571.5	574.675	577.85	581.025
23	584.2	587.375	590.55	593.725	596.9	600.075	603.25	606.425
24	609.6	612.775	615.95	619.125	622.3	625.475	628.65	631.825
25	635.0	638.175	641.35	644.525	647.7	650.875	654.05	657.225
26	660.4	663.575	666.75	669.925	673.1	676.275	679.45	682.625
27	685.8	688.975	692.15	695.325	698.5	701.675	704.85	708.025
28	711.2	714.375	717.55	720.725	723.9	727.075	730.25	733.425
29	736.6	739.775	742.95	746.125	749.3	752.475	755.65	758.825
30	762.0	765.175	768.35	771.525	774.7	777.875	781.05	784.225

Fórmulas generales para la conversión de los diferentes sistemas

Centígrados a Fahrenheit	$^{\circ}\text{F}=9/5^{\circ}\text{C}+32$
Fahrenheit a Centígrados	$^{\circ}\text{C}=5/9 (^{\circ}\text{F}-32)$
Réaumur a Centígrados	$^{\circ}\text{C}=5/4 ^{\circ}\text{R}$
Fahrenheit a Réaumur	$^{\circ}\text{R}=4/9 (^{\circ}\text{F}-32)$
Réaumur a Fahrenheit	$^{\circ}\text{F}=(9/4^{\circ}\text{R})+32$
Celsius a Kelvin	$^{\circ}\text{K}=273.15+^{\circ}\text{C}$
Fahrenheit a Rankine	$^{\circ}\text{Ra}=459.67+^{\circ}\text{F}$
Rankine a Kelvin	$^{\circ}\text{K}=5/9^{\circ}\text{Ra}$

Factores químicos de conversión					
	A	B	C	D	E
Constituyentes	eppm a ppm	ppm a epm	eppm a gpg	gpg a epm	ppm a ppm CaCO ₃
calcio Ca ⁺²	20.04	0.04991	1.1719	0.8533	2.4970
hierro Fe ⁺²	27.92	0.03582	1.6327	0.6125	1.7923
magnesio Mg ⁺²	12.16	0.08224	0.7111	1.4063	4.1151
potasio K ⁺¹	39.10	0.02558	2.2865	0.4373	1.2798
sodio Na ⁺¹	23.00	0.04348	1.3450	0.7435	2.1756
bicarbonato (HCO ₃) ⁻¹	61.01	0.01639	3.5678	0.2803	0.8202
carbonato (CO ₃) ⁻²	30.00	0.03333	1.7544	0.5700	1.6680
cloro (Cl) ⁻¹	35.46	0.02820	2.0737	0.4822	1.4112
hidróxido (OH) ⁻¹	17.07	0.05879	0.9947	1.0053	2.9263
nitrate (NO ₃) ⁻¹	62.01	0.01613	3.6263	0.2758	0.8070
fosfato (PO ₄) ⁻³	31.67	0.03158	1.8520	0.5400	1.5800
sulfato (SO ₄) ⁻²	48.04	0.02082	2.8094	0.3559	1.0416
bicarbonato de calcio Ca(HCO ₃) ₂	805.00	0.01234	4.7398	0.2120	0.6174
carbonato de calcio (CaCO ₃)	50.04	0.01998	2.9263	0.3417	1.0000
cloruro de calcio (CaCl ₂)	55.50	0.01802	3.2456	0.3081	0.9016
hidróxido de calcio Ca(OH) ₂	37.05	0.02699	2.1667	0.4615	1.3506
sulfato de calcio (CaSO ₄)	68.07	0.01469	3.9807	0.2512	0.7351
bicarbonato férrico Fe(HCO ₃) ₃	88.93	0.01124	5.2006	0.1923	0.5627
carbonato férrico Fe ₂ (CO ₃) ₃	57.92	0.01727	3.3871	0.2951	0.8640
sulfato férrico Fe ₂ (CO ₄) ₃	75.96	0.01316	4.4421	0.2251	0.6588
bicarbonato magnésico Mg(HCO ₃) ₂	73.17	0.01367	4.2789	0.2337	0.6839
carbonato magnésico (MgCO ₃)	42.16	1.02372	2.4655	0.4056	1.1869
cloruro de magnesio (MgCl ₂)	47.62	0.02100	2.7848	0.3591	1.0508
hidróxido de magnesio Mg(OH) ₂	29.17	0.03428	1.7058	0.5862	1.7155
sulfato de magnesio (MgSO ₄)	60.20	0.01661	3.5202	0.2841	0.6312

eppm = equivalentes por millón

ppm = partes por millón

gpg = granos por galón

p.p.m. CaCO₃ = partes por millón de carbonato de calcio



ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 Configuración típica de un sistema de abastecimiento de agua en localidades urbanas	1
Ilustración 1.2 Red secundaria convencional	5
Ilustración 1.3 Red secundaria en dos planos	6
Ilustración 1.4 Red secundaria convencional en bloques	7
Ilustración 1.5 Red secundaria en bloques y en dos planos	7
Ilustración 1.6 Distribución por gravedad (recomendable)	9
Ilustración 1.7 Distribución mixta (no recomendable)	9
Ilustración 2.1 Unión espiga-campana en tubería de PVC	13
Ilustración 2.2 Unión por termo fusión	15
Ilustración 2.3 Unión por medio de coples de fibrocemento	17
Ilustración 2.4 Junta Gibault	17
Ilustración 2.5 Unión bridada y unión mecánica	19
Ilustración 2.6 Uniones para hierro dúctil	19
Ilustración 2.7 Unión espiga-campana en tubería de concreto sin cilindro de acero	20
Ilustración 2.8 Unión espiga-campana en tubería de concreto con cilindro de acero	20
Ilustración 2.9 Uniones para tubería de acero	22
Ilustración 2.10 Uniones para tubería de acero	22
Ilustración 2.11 Piezas especiales de hierro fundido con extremos bridados	24
Ilustración 2.12 Válvulas de cierre	26
Ilustración 2.13 Válvulas de altitud en tanques elevados	28
Ilustración 2.14 Válvulas de admisión y expulsión de aire	28
Ilustración 2.15 Válvulas de globo	30
Ilustración 2.16 Válvulas de retención (check)	31
Ilustración 2.17 Caja de válvula (Planta)	33
Ilustración 2.18 Caja de válvula (Elevación)	33
Ilustración 2.19 Caja de operación para válvulas (Elevación)	36
Ilustración 2.20 Caja de operación para válvulas (Planta)	36
Ilustración 2.21 Armado del contramarco	37
Ilustración 2.22 Dimensiones del contramarco	37
Ilustración 2.23 Dimensiones de marco y tapa	38
Ilustración 2.24 Cajas tipo 1 y tipo 2	38
Ilustración 2.25 Caja tipo 3	39
Ilustración 2.26 Caja tipo 4	40
Ilustración 2.27 Caja tipo 5	41
Ilustración 2.28 Caja tipo 6	42
Ilustración 2.29 Caja tipo 7	43
Ilustración 2.30 Caja tipo 8	44
Ilustración 2.31 Caja tipo 9	45

Ilustración 2.32 Caja tipo 10	46
Ilustración 2.33 Caja tipo 11	47
Ilustración 2.34 Caja tipo 12	48
Ilustración 2.35 Caja tipo 13	49
Ilustración 2.36 Tanque superficial, arreglo general de fontanería	53
Ilustración 2.37 Tanque superficial. Fontanería de llegada	54
Ilustración 2.38 Fontanería de salida de la pared del tanque	55
Ilustración 2.39 Fontanería de salida con desagüe de fondo	56
Ilustración 2.40 Fontanería de salida con desagüe de fondo	56
Ilustración 2.41 Tanque elevado, arreglo general de fontanería	57
Ilustración 2.42 Tanque elevado, arreglo de fontanería entrada-salida (Planta)	59
Ilustración 2.43 Tanque elevado, arreglo de fontanería entrada-salida (Elevación)	60
Ilustración 2.44 Toma domiciliaria tipo	65
Ilustración 2.45 Ejemplo de tomas dúplex	67
Ilustración 2.46 Tipos de derivaciones para toma domiciliaria	70
Ilustración 3.1 Cargas en los extremos del tubo	74
Ilustración 3.2 Diagrama universal de Moody, Coeficiente de fricción f para cualquier tipo y tamaño de tubo (modificado de Moody, 1944)	76
Ilustración 3.3 Red cerrada de tubos	79
Ilustración 3.4 Red abierta de agua potable para el ejemplo	81
Ilustración 3.5 Resultados para la red del ejemplo 1	83
Ilustración 3.6 Red cerrada de distribución de agua potable para ejemplo	84
Ilustración 3.7 Resultados para la red del ejemplo 2	85
Ilustración 3.8 Fuerzas que actúan en el tiempo t	89
Ilustración 3.9 Variación horaria de la demanda para la ciudad de México	90
Ilustración 3.10 Coeficientes de variación horaria para distintas ciudades de México	91
Ilustración 3.11 Coeficientes de variación horaria para pequeñas comunidades	91
Ilustración 3.12 Consideraciones para las ecuaciones del tanque	93
Ilustración 3.13 Curva característica carga-gasto de la bomba	93
Ilustración 3.14 Nodo N de la red	94
Ilustración 3.15 Trazo de la red para ejemplo 3 en Epanet 2.0®	95
Ilustración 3.16 Resultados de la simulación en los nodos del funcionamiento hidráulico de la red a las 11:00 h	96
Ilustración 3.17 Simulación en los nodos del funcionamiento hidráulico de la red a las 20:00 h	97
Ilustración 3.18 Velocidad en el tramo 2 y presión en el nodo 2	98

TABLAS

Tabla 2.1 Presión máxima de trabajo en tubería de PVC	13
Tabla 2.2 Presión máxima de trabajo en tubería de PEAD	15
Tabla 2.3 Presión interna de trabajo de las tubería de FC	16
Tabla 2.4 Ventajas y desventajas de los diferentes materiales empleados en tubería para conducir agua potable	25
Tabla 2.5 Tamaños recomendados para válvulas de paso	27
Tabla 2.6 Separación mínima entre paños internos de muros, piso y losa a cualquier extremo de válvulas. La altura F se calculó considerando una válvula de compuerta con vástago desplazable	32
Tabla 2.7 Dimensiones generales para cajas de válvula	34
Tabla 2.8 Dimensiones generales para cajas de válvula (continuación)	35
Tabla 2.9 Recomendaciones para selección de caja para operación de válvulas	35
Tabla 2.10 Fontanería para la llegada de la Ilustración 2.37	54
Tabla 2.11 Fontanería para la llegada-salida de la Ilustración 2.42 e Ilustración 2.43	58
Tabla 2.12 Componentes de una toma domiciliaria para zona urbana	68
Tabla 2.13 Componentes de una toma domiciliaria para zona rural	68
Tabla 2.14 Elementos del ramal de toma para agua potable	69
Tabla 2.15 Elementos del cuadro de toma para agua potable	69
Tabla 2.16 Diámetros máximos recomendados de derivación	70
Tabla 3.1 Rugosidades absolutas para algunos materiales (Sotelo, 2002)	77
Tabla 3.2 Coeficiente a de la formula de Genijew (Sotelo. 2002)	78
Tabla 3.3 Datos para la red de la Ilustración 3.4	81
Tabla 3.4 Resultados de la simulación estática para los nodos	82
Tabla 3.5 Resultados de la simulación estática (primer parte)	83
Tabla 3.6 Resultados de la simulación estática (segunda parte)	84
Tabla 3.7 Datos para la red de la Ilustración 3.6	84
Tabla 3.8 Resultados de la simulación estática para los nodos de una red cerrada	86
Tabla 3.9 Resultados de la simulación estática de una red cerrada (primer parte)	87
Tabla 3.10 Resultados de la simulación estática de una red cerrada (segunda parte)	87
Tabla 3.11 Coeficientes de variación horaria para la ciudad de México	90
Tabla 3.12 Coeficientes de variación horaria para distintas ciudades de México	90
Tabla 3.13 Coeficientes de variación horaria para pequeñas comunidades	91

Tabla 3.14 Resultados de la simulación en los nodos del funcionamiento hidráulico de la red a las 11:00 h	96
Tabla 3.15 Resultados de la simulación en la tubería del funcionamiento hidráulico de la red a las 11:00 h	96
Tabla 3.16 Resultados de la simulación en los nodos del funcionamiento hidráulico de la red a las 20:00 h	97
Tabla 3.17 Resultados de la simulación en las tuberías del funcionamiento hidráulico de la red a las 20:00 h	97
Tabla 3.18 Coeficiente de regulación para suministro de 18 horas (de las 6 a las 23 horas)	103
Tabla 3.19 Coeficientes de regulación	103
Tabla 3.20 Coeficientes de regulación para la ciudad de México	103

