



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**“PROCEDIMIENTOS A SEGUIR EN EL DISEÑO DE
LÍNEAS DE AGUA POTABLE UTILIZANDO
TUBERÍAS DE PVC”**

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N:
ARNULFO LÓPEZ MARTÍNEZ
CARLOS ENRIQUE SÁNCHEZ TORRES

ASESOR: ING. ALFREDO MONTAÑO SERRANO



MÉXICO

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS DE CARLOS ENRIQUE:

A MIS PADRES:

Es para mí una gran satisfacción agradecer a mis padres por el apoyo y motivación que me brindaron para lograr una meta más en mi vida.

A MI HERMANA:

Por que eres la persona que me ha motivado para la terminación de este trabajo.
gracias por brindarme tu apoyo y comprensión.

A MI ASESOR

Ing. Alfredo Montaña Serrano
con gratitud por el tiempo que nos dedico para la elaboración de este trabajo sumando a esto mi respeto y amistad hacia su persona.

AGRADECIMIENTOS DE ARNULFO

A DIOS:

agradezco a dios por estar presente conmigo
en todo momento y permitir dar un
paso muy importante en mi vida
que me llena de mucha satisfacción.

A MIS PADRES:

Por su infinito apoyo incondicional
y en especial a mi
Padre es un orgullo agradecerle y hacerle saber que donde quiera que
se encuentre no bastarían todas las riquezas
del mundo para demostrarle
mi gratitud, cariño y respeto hacia el y hacia mi madre.

A MIS HERMANOS:

Por que con cada uno de ustedes he
Compartido momentos de alegría y
Tristeza, que nos han hecho crecer unidos.
Y en especial a mi hermano que siempre
Me ha estado apoyando en las buenas y
En las malas y que en gran parte por el
he logrado concluir una meta mas en mi vida.

A MI ASESOR.

Ing. Alfredo Montaña Serrano
Quiero agradecer a mi asesor por su
Apoyo y tiempo par la realización de
Este trabajo.

INDICE

Justificación.....	1
Introducción.....	2
CAPITULO 1	
I. Antecedentes históricos del pvc y sus procesos de fabricación en la industria.....	4
1.1 Características y aplicaciones del pvc.....	4
1.2 No existe base científica para eliminar la producción del pvc.....	5
1.3. Proceso para obtener el poli / cloruro de vinilo (pvc).....	6
1.4. Procesos para la fabricación de la tubería de pvc.....	8
1.4.1 Extrusión.....	8
1.4.2 Inyección.....	9
1.5 Pruebas de calidad en tuberías de pvc.....	10
CAPITULO 2	
II. Aspectos hidráulicos a considerar n la conducción de agua utilizando tubería de pvc	
2.1 Cálculos hidráulicos en tuberías.....	15
2.2 Criterios para selección de diámetro.....	16
2.3 Formulas para cálculos de perdidas de carga en tuberías.....	17
2.3.1 Formula de Darcy-Waisbach.....	18
2.3.2 Formula de Hazen-Williams.....	22
2.3.3 Formula de Maning.....	23
2.4 Calculo de pérdidas locales.....	25
2.4.1 Método de las longitudes equivalentes.....	26
2.5 Golpe de ariete.....	28
2.5.1 Explicación del fenómeno.....	29
2.5.2 Dispositivos de alivio.....	30
2.5.3 Válvulas de no retorno.....	31
2.5.4 Válvulas de seguridad.....	31
2.5.5 Válvula aliviadora de presión o supresora de oscilaciones.....	31
2.5.6 Válvulas de admisión y expulsión de aire.....	32
2.5.7 Instalación adecuada de las válvulas.....	32
2.6 El aire y el vacío dentro de las tuberías.....	33
2.6.1 Explicación del fenómeno.....	33
2.6.2 Accesorios para prevenir y controlar el aire así como el vacío en las tuberías.....	35
2.6.3 Calculo del diámetro mínimo de las válvulas.....	36
2.6.4 Colocación de las válvulas.....	38
2.7 Redes de distribución.....	39
2.7.1 Clasificación de los sistemas de distribución.....	39
2.7.2 Componentes del sistema de distribución.....	40
2.7.3 Presiones requeridas y velocidad de flujo.....	41
2.7.4 Diseño de sistemas de distribución ramificada.....	42
2.7.5 Diseño de sistemas de distribución en malla.....	42

2.8 Efecto de la deflexión de la tubería en la capacidad de conducción	45
2.9 Equipos de bombeo.....	47
2.9.1 Definiciones.....	47
2.9.2 Relaciones hidráulicas de un equipo típico de bombeo.....	47
2.9.3 Carga neta positiva de succión.....	50
2.9.4 Curvas características de las bombas.....	54
2.9.5 Motores.....	55
2.9.6 Equipos de pozo profundo	58

CAPITULO 3

III. Aspectos del comportamiento mecánico en las tuberías

3.1 Rigidez de la tubería.....	61
3.2 Influencia del suelo en tubería enterrada	63
3.3 Influencia del tráfico vehicular en la tubería enterrada	63
3.3.1 Cargas máximas permisibles en México para los vehículos.....	64
3.4 Formulas para el cálculo de la deflexión.....	66
3.4.1 Teoría de deflexión de spangler.....	66
3.4.2 Clasificación de los suelos.....	70
3.4.3 Modulo de reacción del suelo E.....	72
3.5 Deflexión longitudinal.....	76
3.5.1 Deflexión permisible.....	76
3.5.2 esfuerzo flexionante	
3.5.3 momento flexionante.....	78
3.5.4 Radio mínimo de curvatura.....	78
3.5.5 Angulo central.....	78
3.5.6 Angulo de deflexión lateral.....	79
3.5.7 Desplazamiento del tubo.....	79
3.5.8 Fuerzas de desplazamiento.....	79

CAPITULO 4

IV. Clasificación de la tubería de pvc y ejemplo de un proyecto general de líneas de agua potable

4.1. Clasificación por sistema de dimensionamiento.....	81
4.1.1. Serie Inglesa (SI).....	81
4.1.2. Serie Métrica (SM).....	81
4.1.3. Clasificación por Clases, RD's y Cédula.....	81
4.1.4. Relación de Dimensiones (RD).....	81
4.1.5. Clases.....	82
4.1.6. Cédulas.....	83
4.1.7. Clases (C 900).....	83
4.2. Clasificación por tipos de unión.....	83
4.3. Elaboración de proyectos.....	86
4.3.1. Consideraciones básicas de diseño.....	86
4.4. Consideraciones Generales de Diseño.....	86
4.5. Descripción general de los elementos de un sistema de Agua Potable.....	87
4.6. Datos básicos de proyecto.....	90
4.6.1. Período de diseño.....	90
4.6.2. Población.....	92
4.6.3. Demanda.....	93
4.6.4. Dotación.....	94

4.6.5. Variaciones.....	94
4.6.6. Gastos	95
4.6.7. Velocidades permisibles.....	96
4.6.8. Regulación.....	97
4.7. Acoplamiento de la tubería.....	99
4.8. Instalación en la zanja.....	100
4.8.1. Dimensiones de la zanja.....	101
4.9. Instalación de piezas especiales.....	103
4.10. Pasos a seguir para la colocación de la junta mecánica.....	105
4.11. Atraques.....	109
4.11.1. Localización de los atraques.....	110
4.11.2. Dimensión de los atraques.....	110
Conclusiones.....	114
Bibliografía.....	115

JUSTIFICACION

El presente trabajo está dirigido a todas aquellas personas que se dedican a diseñar, instalar y/o manejar sistemas de conducción ó redes de agua potable y desean aplicar la tubería de PVC. Así mismo sirve como manual para los profesionistas que se encuentran en una etapa de desarrollo en la cual se desconocen los productos existentes en el mercado, ventajas y limitaciones; dimensiones comerciales y principales propiedades para aplicarlo a su trabajo diario.

Esta investigación pretende proporcionar los criterios generales que se utilizan en el diseño de sistemas de conducción y redes de agua potable sin llegar a ser un manual de diseño.

Pretendemos recabar las bases teóricas para la realización de los criterios a contemplar en un proyecto de una red de agua potable. En la que se considere como material principal el PVC.

INTRODUCCION

Debido a que en la actualidad, ante el aumento dramático de la población en nuestro país y en general en el mundo entero, los diferentes servicios y productos de que se dispone tienen que ser mejor administrados. La optimización de los recursos ha alcanzado todos los niveles de la vida humana. En el caso del agua, dicha optimización adquiere gran importancia, ya que la disponibilidad del líquido disminuye cada vez más y por lo tanto su obtención se dificulta y encarece de manera importante.

Un uso eficiente del agua implica la utilización de mejores sistemas de extracción, conducción y almacenamiento de agua; además del cambio de la forma de pensar de los usuarios de este vital líquido. Dentro de los sistemas de conducción, en el mercado existen tuberías fabricadas con gran diversidad de materiales, que dependiendo de las condiciones de operación se comportan de manera satisfactoria o no. Pero a la que nos enfocaremos es a La tubería de Poli (cloruro de vinilo) (PVC).

CAPITULO 1

ANTECEDENTES HISTORICOS DEL PVC Y SUS PROCESOS DE FABRICACION EN LA INDUSTRIA

1. ANTECEDENTES HISTORICOS DEL PVC Y SUS PROCESOS DE FABRICACIÓN

En este capítulo describiremos una breve historia acerca del PVC. Así como los procesos que se requieren en la industria para la fabricación de tuberías de PVC desde los elementos esenciales para la elaboración del monómero hasta la extrusión e inyección de la tubería y conexiones.

HISTORIA DEL PVC

El descubrimiento del PVC se remonta a finales del siglo diecinueve al descubrirse que un nuevo compuesto orgánico llamado cloruro de vinilo reaccionaba fuertemente a la luz solar formando una acumulación de material sólido blanco en la parte baja de los tubos de prueba, esta reacción es la polimerización simple del PVC. El nuevo plástico fue olvidado debido a que en esa época no se le encontraron aplicaciones. Para los años veinte se retomaron las investigaciones acerca del PVC principalmente en Alemania, produciendo perfiles de PVC rígido. Para los años treinta los científicos e ingenieros alemanes desarrollaron y produjeron cantidades limitadas de tubo de PVC.

Se puede decir que la Industria de la tubería de PVC es producto de la segunda guerra mundial, ya que los sistemas de agua y alcantarillado fueron destruidos en su mayoría por los bombardeos en Alemania, debido a esto los científicos e ingenieros alemanes desarrollaron la industria de la tubería de PVC.

Las primeras instalaciones hidráulicas con tubería de PVC en México (con campana y anillo de hule) inician en 1964.

1.1. Características y Aplicaciones del PVC

- **Ligereza:** El peso de un tubo de PVC es aproximadamente la 5ª parte de un tubo de asbesto cemento o de uno de acero, de iguales dimensiones.
- **Hermeticidad:** Los diferentes tipos de unión que se usan en la tubería hidráulica garantiza una completa hermeticidad del sistema.
- **Atoxicidad:** El PVC no aporta ningún elemento extraño al agua.
- **Facilidad de instalación:** Por su ligereza y facilidad de unión no se requiere maquinaria sofisticada para su instalación, además se tiene un avance de obra mayor por los tramos de 6 metros en que se fabrica el tubo.
- **Menor rugosidad:** Para las mismas condiciones de diámetro, longitud y caudal, el PVC tiene menores pérdidas de carga ya que su coeficiente de Manning es de 0.009, de Hazen-Williams de 150 y su rugosidad absoluta de 0.0015 mm.
- **Flexibilidad de la tubería:** La tubería de PVC presenta flexibilidad tanto longitudinalmente como de forma vertical (transversalmente).

- Excelente resistencia al agua y vapor de agua: ropa de protección para pescadores, bomberos y trabajadores a la intemperie. Toldos, lonas, envases, guantes, artículos inflables.
- Buena resistencia mecánica y tenacidad: cañerías que deben soportar trato rudo y deben permanecer bajo tierra transportando agua, efluentes, y químicos por varias décadas. Elementos para la construcción como perfiles para aberturas, recubrimientos y canalizaciones
- Excelente resistencia a la abrasión: pisos larga duración, de fácil limpieza en el hogar, la oficina y edificios públicos. Calzados.
- Buena resistencia química: fabricación de plantas químicas y procesamientos higiénicos de alimentos. Envases. Tuberías. Impermeabilizaciones.
- Excelentes propiedades eléctricas: aislamiento y revestimiento para distintos tipos de cables. Enchufes y tomacorrientes. Canalizaciones para conductores eléctricos.
- Versatilidad: Rígido o flexible, translúcido u opaco, natural o coloreado, compacto o espumado, fácilmente procesable por un amplio número de métodos, haciéndolo adecuado para innumerables usos y aplicaciones.

**1.2 NO EXISTE BASE CIENTÍFICA PARA ELIMINAR LA PRODUCCIÓN DE PVC
DIFERENTES ESTUDIOS ASÍ LO CONFIRMAN:**

CONGRESO AEA TECHNOLOGY (LABORATORIO BRITANICO) SOBRE MUESTRAS TOMADAS EN 11 PUNTOS CON MAYOR PRODUCCIÓN DE PVC. (12/16.08.96)

-No existen dioxinas tóxicas en el PVC virgen.

AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE SUECA. (28.06.96)

- Es completamente recomendable fabricar y reciclar el PVC.
- La reducción del contenido de PVC en los Residuos Sólidos Urbanos no reduce la formación de dioxinas en el proceso de incineración.

FUNDACION HOLANDESA "STICHTING BOUWRERESEARCH" (SBR) (1996)

- Estudio patrocinado por el Ministerio Holandés del Medio Ambiente.
- Expone las directrices para la construcción de viviendas.
- El PVC está en todas las listas de materiales preferibles.
- La gran ventaja del PVC es su facilidad de reciclaje.

COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (DIRECCION GENERAL III C-4) E INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TNO SOBRE PLÁSTICOS Y CAUCHO DE HOLANDA (JULIO 1995)

- Son injustificados diversos aspectos acerca del PVC que han sido motivo de preocupación en el pasado.
- Los productos fabricados con PVC no producen un Medio Ambiente ni mejor ni peor que otros productos de los llamados alternativos.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. (1995)

- No existe relación alguna entre el cloro contenido en los Residuos Sólidos Urbanos y la producción de dioxinas.

ENQUETE KOMMISSION (GOBIERNO ALEMAN) (Septiembre 1994).

- El PVC no debería ser sustituido por otros productos.
- Debería desarrollarse más su reciclado.

ACADEMIA DE CIENCIAS FRANCESA. ESTUDIÓ LA DIOXINA Y SUS ANALOGOS. (Septiembre 1994)

- Ningún elemento permite considerar hoy en día que la dioxina y productos análogos constituyen mayor riesgo para la salud pública.

INSTITUTO DE ONCOLOGIA "FELICE ADDARI" ITALIA (1993).

- No existe ninguna diferencia entre el agua embotellada en vidrio y aquella embotellada en PVC.

ASSOCIATION OF THE DUTCH CHEMICAL INDUSTRY (Diciembre 1991)

- El PVC es una excelente alternativa para la fabricación de marcos de ventana, especialmente desde el punto de vista del impacto sobre el medio ambiente.

AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE AMERICANA (EPA).

- La contribución de la industria del PVC a la formación de dioxinas es mínima.

1.3 Proceso para obtener el poli-cloruro de vinilo (PVC)

Para entender mejor el proceso del poli-cloruro de vinilo necesitamos comprender las siguientes definiciones:

Termoplástico.- Propiedad que le permite a un material ser moldeable repetidamente por un incremento de temperatura y endurecido por un decremento de la misma.

Polímero.- Material orgánico que contiene un alto número de configuraciones químicas repetidas enlazadas entre si como eslabones de una cadena. Estas cadenas son de alto peso molecular.

Monómero.- Es una molécula pequeña, simple, de la cual se forma la cadena.

Polimerización.- Es la reacción que une a los monómeros en una gran estructura como un polímero.

El PVC es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo (VCM), es una resina plástica lineal, volátil, incolora y dulce al olfato. Las fórmulas químicas se pueden observar en la figura 1.1.

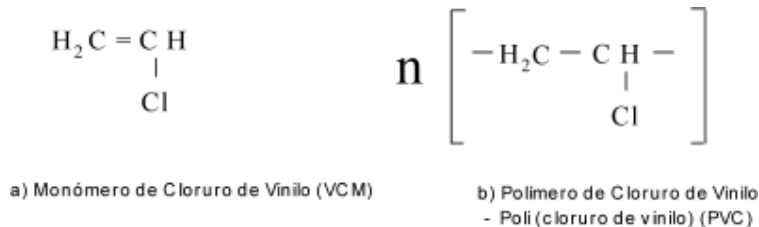


Fig. 1.1. Fórmulas moleculares del VCM y el PVC

El VCM es un gas incoloro que se almacena a presión (2 - 5 kg/cm²) para convertirlo en líquido y hacerlo más manejable. La figura 1.2. muestra el proceso de obtención del PVC.

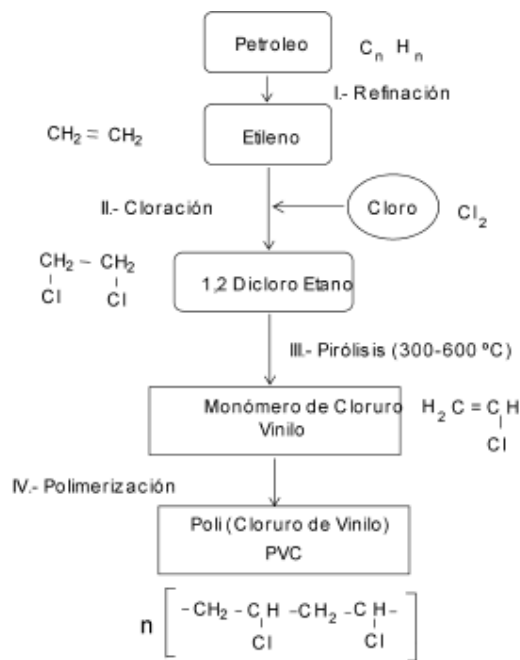


Fig. 1.2. Obtención de PVC

(Pirólisis: Proceso fisicoquímico mediante el cual separan las moléculas de un compuesto utilizando calor)

En la industria del plástico, la palabra resina se refiere al polímero básico usado como materia prima, mientras que compuesto se le llama a la mezcla homogénea de resina y varios aditivos.

Como muestra la figura anterior el producto final de este proceso es la resina de PVC, a partir de esta resina y dependiendo del uso que se le va a dar al producto, se requiere agregar algunos aditivos con la finalidad de adecuar las propiedades físicas y químicas de la resina original.

1.4 Procesos para la fabricación de la tubería de PVC.

Los procesos más comunes en la fabricación de tubería de PVC, son extrusión, inyección y formación manual de piezas.

El compuesto de PVC, esta formado en su mayoría por Poli (cloruro de vinilo), el resto por elementos como estabilizadores, pigmentos, lubricantes, auxiliares de proceso y rellenos. Las característica determinantes se deben al Poli (cloruro de vinilo) por ser el elemento predominante en el compuesto, los ingredientes complementarios tienen por objeto facilitar el proceso o mejorar las propiedades particulares de la resina de PVC.

1.4.1. Extrusión.

Después de pasar por una adecuada inspección y prueba de control de calidad, los fabricantes de resina de PVC embarcan ésta en forma de polvo a los productores de tubo. Al llegar a la planta es transportada por medio neumático desde los camiones que la transportar hasta los silos de almacenamiento.

Una vez en la planta la resina se sujeta nuevamente a otra inspección por parte del departamento de aseguramiento de calidad. Obtenida su aprobación, las materias primas son transportadas a la operación de mezclado en donde los ingredientes son combinados en una proporción de peso exacta y así formar un compuesto homogéneo. A esta operación se le conoce como "Dry-Blend" (mezclado en seco). Al término de este intenso mezclado a elevadas temperaturas por un determinado tiempo, la preparación de un lote de compuesto de PVC esta terminada. Dependiendo de la demanda, el compuesto es neumáticamente transportado a la operación de extrusión, este es colocado en el interior de una tolva para alimentar al extrusor. Los extrusores para fabricación de productos de PVC son en su gran mayoría de Multi-tornillo, al caer de la tolva, el compuesto de PVC en forma de polvo pasa por una garganta hacia el barril de extrusión dentro de este el compuesto es recibido por tornillos giratorios.

Después el material es transportado por una acción de bombeo a través de los espacios entre el tornillo y el barril por todo el extrusor, conforme el material avanza a una temperatura y presión perfectamente controlada, este se convierte de un polvo seco en una masa viscosa de plástico. Para la obtención de un producto final con las características requeridas el proceso debe ser cuidadosamente monitoreado y controlado en forma precisa.

Cuando el proceso de plastificado es concluido y los elementos volátiles han sido eliminados del plástico fundido, el material es preparado para su formación final. La masa visco-elástica de plástico es empujada dentro de un dado de formado bajo una alta presión 140 - 350 kg/cm² (2,000-5,000 PSI), entonces el plástico caliente es moldeado en un perfil de forma cilíndrica. Al salir de este dado el material esta extremadamente caliente aproximadamente a 200 ° C (400 °F), flexible y deformable. En este punto el

plástico caliente es formado con precisión en un producto final con las dimensiones requeridas y después enfriado para solidificarlo.

El control dimensional del diámetro exterior se logra al forzar el paso del plástico caliente a través de una camisa dimensionadora al mismo tiempo que es jalado fuera del extrusor por un equipo conocido como jalón. El espesor de pared es controlado por la correcta sincronización entre el Jalón y la velocidad de extrusión. Hasta que es obtenida la forma definitiva, el tubo de PVC extruido es jalado fuera del extrusor dentro de los tanques de enfriamiento en donde es enfriado por agua templada. Concluido esta operación, pasa al marcado, al corte a la longitud exacta y formado del chaflán. En este punto el tubo terminado es transferido a la operación de acampanado.

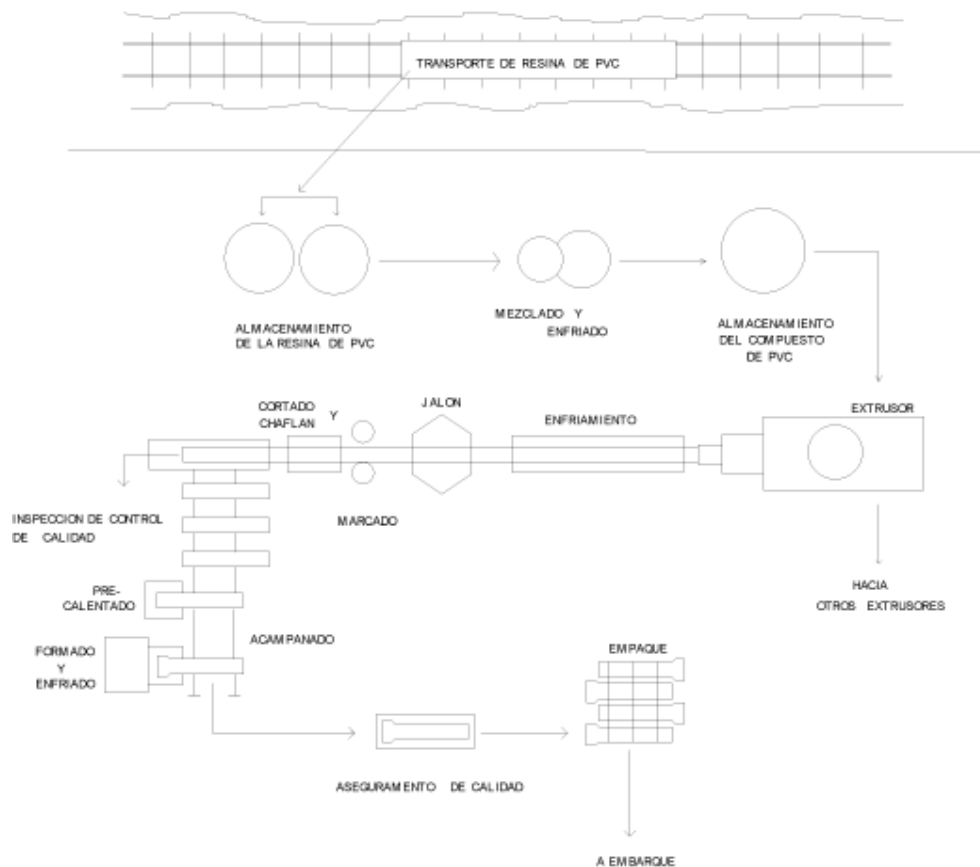


Fig. 1.3. Diagrama de flujo del proceso de extrusión del tubo de PVC

1.4.2. Inyección.

La formulación de compuestos de PVC para moldeado de piezas por inyección es similar a la de los compuestos utilizados para extrusión, de igual manera el proceso de mezclado se realiza mediante "Dry-Blend" (mezclado en seco). Debido a que las máquinas de inyección están diseñadas para recibir "pellets" (granos), los fabricantes prefieren utilizar estos para la alimentación de las inyectoras, con el manejo del material en pellets el beneficio obtenido es la eliminación de los volátiles durante el proceso de obtención de los pellets y no durante el proceso de inyección.

El tipo más común de inyectoras de PVC rígido es el de tornillo oscilante, en estas el tornillo rotatorio se mueve hacia adelante y hacia atrás dentro de un cilindro caliente.

En el ciclo de moldeo, mientras el tornillo gira, el PVC rígido, ya sea en pellets o en polvo, es tomado por las espiras del tornillo en la zona de alimentación y forzada hacia la esprea frontal. En cuanto el material alcanza la punta del tornillo, este gira hacia atrás para permitir que PVC rígido se acumule en la esprea, en el momento apropiado, el tornillo retorna hacia el frente actuando como un émbolo empujando al PVC rígido derretido bajo una gran presión a través de la esprea y dentro del molde. El tamaño de la carga o disparo puede ser regulada con la carrera de regreso del tornillo, la cual puede ser controlada con un interruptor de límite.

Debido a que el molde es llenado a una alta presión, la cavidad entera del molde es enteramente reproducida. Después de pasado el suficiente tiempo para que la pieza se enfríe y solidifique, el molde es abierto y la pieza es sacada.

La secuencia de una operación automática de inyección es la siguiente:

1. Cerrar y asegurar el molde bajo presión.
2. Inyección de PVC rígido.
3. Mantener el molde bajo presión mientras la pieza se enfría. La mayoría de los moldes son enfriados por agua para acelerar el proceso.
4. El tornillo giratorio regresa a recuperarse para el siguiente disparo.
5. Abrir el molde y sacar la pieza. Algunas piezas gruesas pueden ser sumergidas en agua para continuar con el enfriamiento.

1.5. Pruebas de calidad en tuberías de pvc.

Las pruebas de calidad que a continuación vamos a mencionar son de acuerdo a la norma NMX-E-215-2-1999-SCFI, para determinar las propiedades mecánicas y químicas de la materia prima con la cual se fabrican los productos finales de PVC. Todas estas normas enfocadas a la industria del plástico.

• **Pruebas de Calificación.** Pruebas a las que son sometidos las tuberías y materiales de los cuales están fabricados para asegurar que los productos finales puedan cumplir sin excepción los requerimientos de las especificaciones aplicables.

Las pruebas de calificación comúnmente usados en la fabricación de tubo de PVC son aplicadas para evaluar las siguientes propiedades de diseño:

Prueba de Clasificación de la Celda del Compuesto de PVC para Extrusión.

Se realiza para determinar las propiedades mecánicas y químicas de la materia prima con la cual se fabrican los productos finales de PVC.

Prueba Toxicológica

Realizadas para verificar la ausencia de químicos, las cuales pueden ser razonablemente llamadas tóxicas o cancerígenas en cantidades que puedan ser causa de daños fisiológicos al hombre cuando ingieren sustancias que son transportadas por tubería.

Prueba Química/Organoléptica (Olor y sabor)

Tiene como objetivo evaluar la extracción química, sabor u olor que pudieran producir los productos fabricados de PVC que transportan fluidos que serán consumidos por el hombre. Por ejemplo tubería para conducción de agua potable.

Prueba de Esfuerzo de Diseño Hidrostático a largo plazo

Se realiza para determinar el Esfuerzo a la Tensión máximo permisible soportado por la pared del tubo en sentido radial (hoop stress) provocado por la presión interna aplicada continuamente, con un alto grado de certidumbre de que no se presentará una falla.

Prueba de comportamiento del Sistema de Unión

En condiciones de laboratorio se verifican que los diseños de los sistemas de unión no presenten fugas.

• **Inspecciones y Pruebas de Control de Calidad.** Las pruebas de control de calidad son aplicadas rutinariamente

Inspección de acabado

Tiene como objetivo asegurar que las piezas de PVC son totalmente homogéneas, por lo tanto, estará libre de burbujas, fracturas, inclusiones o de otros defectos, inclusive de color, densidad y las demás características físicas uniformes.

Inspección Dimensional

La medición de las dimensiones críticas en forma regular y sistemática es fundamental, las dimensiones críticas comúnmente requeridas son:

- Diámetro del tubo
- Espesor de pared del tubo
- Ovalidad
- Dimensiones de la campana de unión
- Longitud

Inspección de Marcación

Verifica la marcación correcta del producto conforme a los requerimientos de la especificación aplicable, normalmente esta marcación incluye:

- Nombre, razón social, marca registrada o símbolo del fabricante.
- Material de que está fabricado el tubo (PVC).

- Clase o RD
- Diámetro nominal
- Serie métrica (Sm) o Serie inglesa (Si)
- Presión máxima de trabajo
- Uso (Agua a presión)
- La leyenda "HECHO EN MEXICO" o símbolo o país de origen.
- Fecha de fabricación (DIA / MES / AÑO)

Inspección del Empacado de la tubería

El empaque final de la tubería así como embarque se inspecciona para asegurar una adecuada protección y manejo del producto.

Prueba de Reventamiento rápido

Se prueba una muestra de tubo y se presuriza hasta su reventamiento, la presión a la cual se presenta la ruptura debe exceder la presión mínima de reventamiento requerida por la especificación aplicable.

Prueba de Aplastamiento

Consiste en aplastar una muestra de tubo entre dos placas paralelas móviles hasta un 60%, (debe quedar entre las placas una distancia igual a un 40% del diámetro original), bajo esta condición la muestra no debe presentar rompimiento, fracturas o rajaduras.

Prueba de Calidad de Extrusión

Una muestra de tubo se sumerge en un solvente durante un tiempo determinado, al termino de este se extrae la muestra y esta no debe presentar escamas o desintegración.

Prueba de Impacto

Se colocan muestras de Tubo de PVC en un soporte y se le aplica un impacto por una maza de metal de geometría y peso definido, desde una altura específica.

Prueba de Rigidez del tubo

Similar a la prueba de aplastamiento, pero la muestra se aplasta ahora hasta un 5% y en ese momento se mide con precisión la fuerza requerida para lograr esa deformación. Esta fuerza, por unidad de longitud dividida entre la deflexión vertical, es expresada en las siguientes unidades kilogramos por metro lineal por metro (kg/m x m) (Kpa) y es denominada rigidez del tubo a un 5%. **Aplicable únicamente a los tubos de Alcantarillado Sanitario.**

• **Pruebas de Aseguramiento de Calidad.** Estas pruebas son practicadas a la producción al final del proceso de manufactura a un lote estadístico para asegurar que las propiedades evaluadas en el producto terminado consistentemente satisfaga los requerimientos de la especificación aplicable.

Prueba de Presión sostenida

Muestras de tubo se someten periódicamente a presión hidrostática interna durante 1000 h, el valor de la presión depende de la especificación aplicable a cada producto, durante la prueba no debe presentarse inflado, reventamiento, goteos o falla.

Cada una de las categorías de las pruebas representa una parte significativa y vital del aseguramiento de que el tubo de PVC servirá con seguridad a través de su vida útil.

CAPITULO II

ASPECTOS HIDRULICOS A CONSIDERAR EN LA CONDUCCIÓN DE AGUA UTILIZANDO TUBERIA DE PVC

2. En este capítulo se analizarán los parámetros hidráulicos para la conducción de agua por medio de la tubería de PVC.

2.1 Cálculos hidráulicos en tuberías

La energía disponible en una sección cualquiera de la tubería, está dada por la suma de las cargas de posición (Z), de presión (P/γ) y la cinética o de velocidad ($V^2/2g$) de acuerdo a la figura 2.1.

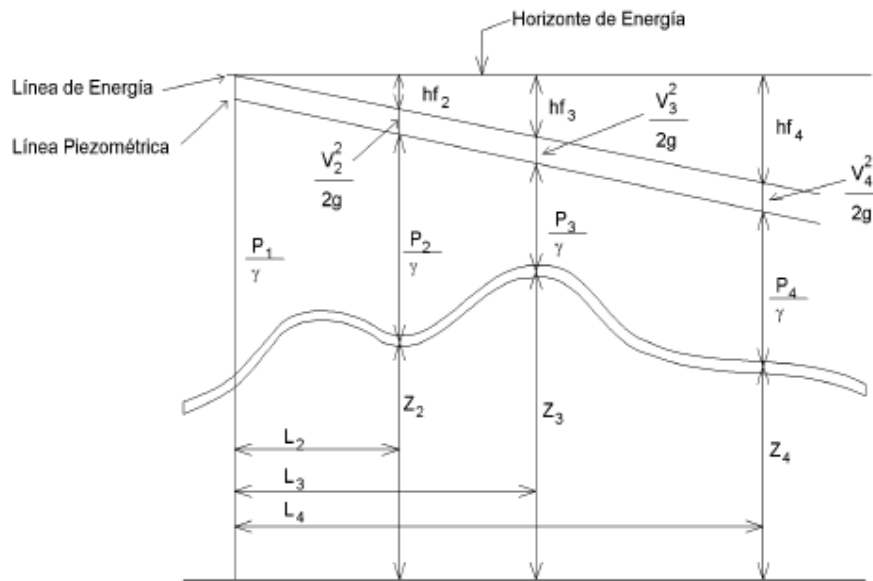


Fig. 2.1. Gradiente hidráulico y de energía

En otras palabras la energía queda definida como:

$$E = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

E = Energía disponible (m)

Z = Carga de posición (m)

P/γ = Carga de presión (m)

$V^2/2g$ = Carga de velocidad (m)

P = Presión en el tubo (kg/m^2)

γ = Peso específico del agua (kg/m^3)

V = Velocidad del flujo (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Aplicando el teorema de Bernoulli entre dos secciones se tiene:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + ht_{1-2} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Siendo:

ht₁₋₂ = Pérdidas de carga entre la sección (1) y la sección (2) (m)

Las pérdidas de energía se deben a la fricción en la tubería y los accesorios o piezas especiales, tales como: reducciones, tes, codos, válvulas, etc.

En general:

$$ht_{1-2} = hf_{1-2} + hx_{1-2} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

hf = Pérdidas por fricción (m)

hx = Pérdidas locales debidas a accesorios (m)

A la línea que une todos los puntos cuyo valor es igual a la energía disponible E, se le llama *Línea de Energía (LE)* o *Línea de Gradiente de Energía*.

A la línea que une todos los puntos cuyo valor está separado de la línea de energía por un valor igual a " $V^2 / 2g$ ", se le llama *Línea Piezométrica (LP)* o *Línea de Gradiente Hidráulico*.

La Carga Disponible (CD) es la altura de la línea piezométrica, referida al terreno natural (TN), esto es: $CD = LP - TN$.

2.2. Criterios para selección de diámetro.

El cálculo de los diámetros preliminares depende de la velocidad de conducción dentro del tubo, para tal efecto se utiliza la ecuación de continuidad:

$$Q = VA \quad \text{y siendo } A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \therefore Q = \frac{V\pi}{4} D^2 \quad \text{por lo que } D = \sqrt{\frac{4}{\pi V}} \sqrt{Q}$$

Ec. 2.4

Ec. 2.5

Ec. 2.6

Ec. 2.7

Donde:

Q = Gasto (m³ /s)

V = Velocidad del flujo (m/s)

A = Área de la sección transversal del tubo (m²)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

A la ecuación (2.7) se le aplica el factor de transformación de unidades de m³ /s a litros por segundo (lps) y de metros a milímetros, para Q y D respectivamente; además haciendo constante el primer término la ecuación queda de la siguiente forma:

$$D = K\sqrt{Q} \quad \text{siendo } K = \sqrt{\frac{4}{\pi V} \times 1000} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Ecuación 2.8

Donde: Q en lps y D en mm

El cuadro siguiente muestra la constante K para diferentes velocidades de diseño.

Velocidad (m/s)	Constante K
0.6	46.0659
1.0	35.6825
1.2	32.5735
1.5	29.1346
1.7	27.3672
2.0	25.2313
2.5	22.5676

Cuadro 2.1 de la Constantes K que se aplica en la formula (2.8).

2.3. Fórmulas para cálculos de pérdidas de carga en tuberías

Para cálculos hidráulicos en tuberías existen muchas fórmulas, pero nosotros nos apegaremos a las siguientes Darcy-Weisbach, Hazen-Williams y Manning.

2.3.1. Fórmula de Darcy - Weisbach

Una de las fórmulas más exactas para cálculos hidráulicos es la de Darcy-Weisbach ya que para calcular el coeficiente de fricción "f" toma en cuenta aspectos tales como temperatura del fluido, la rugosidad de la pared del conducto, el diámetro y la velocidad.

La fórmula original de tuberías a presión es:

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Donde:

hf = Pérdidas de carga por fricción (m)

f = Coeficiente de fricción (adim)

L = Longitud del tubo (m)

v = Velocidad media del flujo (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

D = Diámetro interno del tubo (m)

Usando la ecuación de continuidad (2.4) y de área hidráulica (2.5) la relación anterior se deja en función del gasto, ya que:

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

entonces la velocidad y el valor del cociente $v^2 / 2g$ serían:

$$V = \frac{4 Q}{\pi D^2} \quad \text{Ec. 2.12} \quad \text{y} \quad \frac{V^2}{2g} = \frac{8Q^2}{\pi^2 D^4 g} \quad \text{Ec. 2.13}$$

resolviendo (2.13) y considerando $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, la fórmula de pérdidas de carga queda de la siguiente forma:

$$hf = 8.263 \times 10^7 f L \frac{Q^2}{D^5} \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Usando: hf en metros, Q en litros por segundo, L en metros y D en milímetros.

Para el cálculo de f existen diferentes fórmulas por citar algunas se dan las siguientes:

Fórmula “ f ” de Poiseville

Para régimen laminar desarrollo la siguiente relación:

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds (adim), y queda definido como:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{Ecuación 2.16}$$

Siendo:

ν = Viscosidad cinemática (m^2/s)

En la figura 2.2. se muestra la variación de viscosidad cinemática del agua por la temperatura.

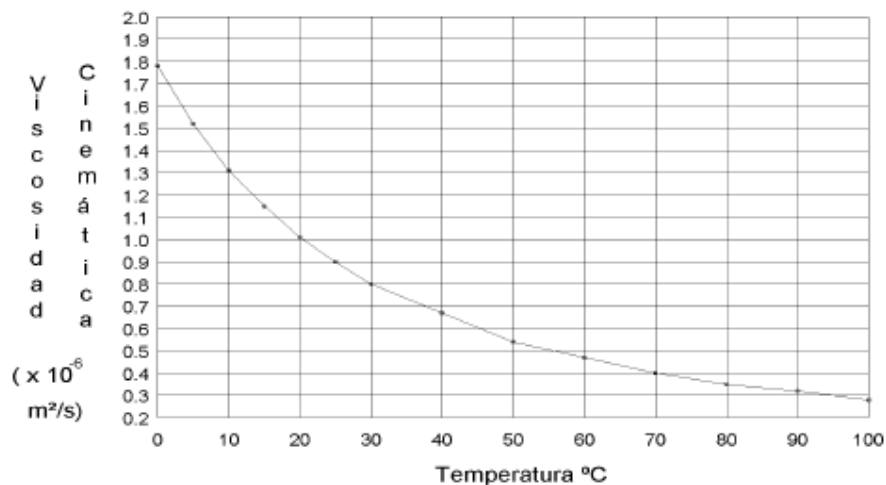


Figura 2.2. Viscosidad cinemática (ν) del agua a presión atmosférica del nivel del mar.

Esta fórmula es válida para tubos lisos o rugosos y para $Re \leq 2,300$ en régimen laminar.

Dejando el Número de Reynolds en términos de gasto en lps y el diámetro en milímetros, además de considerar una temperatura promedio del agua de 20 °C ($\nu = 1.01 \times 10^{-6} m^2/s$) se tiene :

$$Re = 1.2606 \times 10^6 \frac{Q}{D} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

Donde:

Q en lps y D en milímetros

El siguiente cuadro muestra algunas constantes para la fórmula de Reynolds con otras temperaturas de flujo.

Temperatura (° C)	Viscosidad Cinemática (m ² /s)	Constante para la Fórmula de Re (adim)
5	1.52 x 10 ⁻⁶	0.8377 x 10 ⁶
10	1.31 x 10 ⁻⁶	0.9719 x 10 ⁶
15	1.15 x 10 ⁻⁶	1.1072 x 10 ⁶
20	1.01 x 10 ⁻⁶	1.2606 x 10 ⁶
25	0.90 x 10 ⁻⁶	1.4147 x 10 ⁶
30	0.80 x 10 ⁻⁶	1.5915 x 10 ⁶

Cuadro 2.2 Valores de la constante para la fórmula de cálculo del Número de Reynolds a diferentes temperaturas

Fórmula de “ f ” de Colebrook - White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{Log} \frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{\text{Re}\sqrt{f}} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Donde:

e = Rugosidad absoluta del material (mm)

Re = Número de Reynolds (adim)

f = Coeficiente de fricción (adim)

D = Diámetro interno del tubo (mm)

La cual es iterativa y es válida para tubos lisos y rugosos en la zona de transición y turbulenta y para Re > 4,000.

Fórmula de “ f ” de Swamee - Jain

Para valores de Re mayores a 4,000 es recomendable usar la siguiente expresión.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

Todos los términos definidos anteriormente.

Los valores de rugosidad absoluta se muestran en el cuadro 2.3.

Material	Rugosidad absoluta (mm)
PVC	0.0015
PE	0.0015
Cobre y latón	0.0015
Asbesto Cemento (A-C)	0.025
Acero rolado nuevo	0.05
Fierro Fundido nuevo	0.25
Fierro Galvanizado	0.15
Concreto Presforzado Freyssinet	0.025

Cuadro 2.3 Valores de Rugosidad Absoluta (ϵ) para diferentes materiales

Para el cálculo de “f” se utiliza el diagrama de Moody, en este manual dicho diagrama fue elaborado usando la “f” de Swamee - Jain para la zona de transición y turbulenta (figura 2.3.).

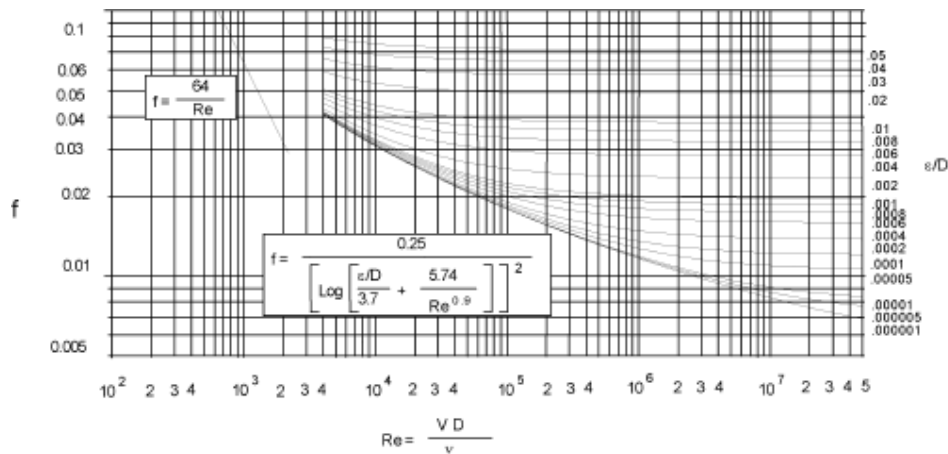


Fig. 2.3. Diagrama de Moody usando la "f" de Swamee-Jain

2.3.2. Fórmula de Hazen - Williams.

Otra fórmula para calcular las pérdidas de carga muy utilizada actualmente por su sencillez es la fórmula de Hazen-Williams. En esta fórmula se usa un coeficiente “C” de fricción dado para cada material. La fórmula en unidades métricas es la siguiente.

$$V = 0.355 C D^{0.63} S^{0.54} \quad \text{Ecuación 2.20}$$

Donde:

V = Velocidad media (m/s)

C = Coeficiente de fricción (adim)

D = Diámetro interno del tubo (m)

S = Pendiente (m/m)

Haciendo: $S = S_v = \frac{hf}{L}$ Ec. 1.21 $V = \frac{Q}{A}$ y $A = \frac{\pi D^2}{4}$; transformando unidades y despejando para hf tenemos:

$$hf = \frac{1.21 \times 10^{10}}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} L \quad \text{Ecuación 2.22}$$

Donde:

hf = Pérdidas de carga por fricción (m)

D = Diámetro interno del tubo (mm)

Q = Gasto o caudal (lps)

C = Coeficiente de fricción (adim)

L = Longitud del conducto (m)

Los coeficientes C para diferentes materiales están dados en el siguiente cuadro:

Material	C (adim)
PVC	150
PE	150
Cobre y latón	130
Asbesto Cemento (A-C)	135

Acero galvanizado	125
Fierro Fundido nuevo	130
Concreto acabado común	120

Cuadro 2.4 Valores del Coeficiente “C” para usarse en la fórmula de Hazen - Williams.

2.3.3. Fórmula de Manning

Por lo general la fórmula de Manning se ha usado para canales, trabajando como tuberías de conducción de agua la fórmula se usa considerando el conducto totalmente lleno. Se ha usado profusamente en el cálculo de acueductos. La fórmula es como sigue:

$$V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ecuación 2.23}$$

$$Rh = \frac{A}{Pm} \quad \text{Ecuación 2.24}$$

En donde:

V = Velocidad del flujo (m/s) A = Área del tubo (m²)

n = Coeficiente de rugosidad (adim) Pm = Perímetro mojado (m)

S = Pendiente del tubo (m/m)

Rh = Radio hidráulico (m)

Ya que $Q = VA$; tenemos:

$$Q = \frac{A}{n} Rh^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ecuación 2.25}$$

Donde:

Q = Gasto en (m³ /s)

n = Coeficiente de rugosidad (adim)

Para tuberías el perímetro mojado y el radio hidráulico quedan definidos de la siguiente manera:

$$Pm = \pi D \quad \text{Ecuación 2.26}$$

$$Rh = \frac{A}{Pm} = \frac{(\pi D^2 / 4)}{\pi D} = \frac{D}{4} \quad \text{Ecuación 2.27}$$

Donde:

p = 3.1415927

D = Diámetro interno de la tubería (m)

La fórmula de Manning para tubo completamente lleno es la siguiente:

$$Q = \frac{A}{n} \left(\frac{D}{4} \right)^{3/2} S^{1/2} \quad \text{Ecuación 1.28}$$

Haciendo $S = S_v = \frac{hf}{L}$ y $A = \frac{\pi D^2}{4}$; transformando unidades y despejando para hf tenemos:

$$hf = \frac{10.294 \times 10^{10}}{D^{3.333}} (Qn)^2 L \quad \text{Ecuación 2.29}$$

Donde:

hf = Pérdidas de carga por fricción (m)

D = Diámetro interno del tubo (mm)

Q = Gasto o caudal (lps)

n = Coeficiente de fricción (adim)

L = Longitud del conducto (m)

Los coeficientes n para diferentes materiales están dados en el siguiente cuadro.

Material	n (adim)
PVC	0.009
PE	0.009
Asbesto Cemento (A-C)	0.010
Fierro galvanizado	0.012
Fierro Fundido nuevo	0.013
Concreto acabado común	0.013

Cuadro 2.5 Valores del Coeficiente “n” para usarse en la fórmula de Manning.

2.4. Cálculo de Pérdidas Locales

En general las pérdidas locales se evalúan como sigue :

$$h_x = K_x \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación 1.30}$$

Donde:

h_x = Pérdidas de carga locales debido al accesorio “x” (m)

K_x = Coeficiente según el tipo de accesorio (adim)

$V^2 / 2g$ = Carga de velocidad (m/s)

Los valores aproximados de K_x para los diferentes tipos de accesorios se muestran en el cuadro 2.6.

Pieza	K_x	Pieza	K_x
Ampliación Gradual	0.30*	Entrada de borda	1.00
Boquillas	2.75	Entrada abocinada	0.04
Compuerta, abierta	1.00	Medidor Venturi	2.50**
Controlador de caudal	2.50	Reducción gradual	0.15*
Codo de 90°	0.90	Válvula de compuerta, abierta	0.20
Codo de 45°	0.40	Válvula de ángulo, abierta	5.00
Codo de 22° 30'	0.20	Válvula tipo globo, abierta	10.00
Rejilla	0.75	Salida tubo	1.00
Curva de 90°	0.40	Te, pasaje directo	0.60
Curva de 45°	0.20	Te, salida de lado	1.30
Curva de 22° 30'	0.10	Te, salida bilateral	1.80
Entrada redondeada ($r = D/2$)	0.23	Válvula de pie	1.75
Entrada normal en	0.50	Válvula de retención	2.50

tubo		(check)	
------	--	---------	--

Cuadro 2.6 Valores aproximados de Kx (pérdidas locales)

2.4.1. Método de las longitudes equivalentes

Este método consiste en sumar a la extensión real de tubo, una longitud equivalente a las pérdidas de carga que se ocasionan en las piezas especiales existentes en la tubería. A cada pieza especial corresponde una longitud ficticia y adicional. El cuadro siguiente muestra la longitud equivalente para diferentes piezas.

Diámetro		Codo 90° radio largo	Codo 90° radio medio	Codo 90° radio corto	Codo 45°
Mm	pulg.				
13	1/2	0.3	0.4	0.5	0.2
19	3/4	0.4	0.6	0.7	0.3
25	1	0.5	0.7	0.8	0.4
32	1 1/4	0.7	0.9	1.1	0.5
38	1 1/2	0.9	1.1	1.3	0.6
50	2	1.1	1.4	1.7	0.8
63	2 1/2	1.3	1.7	2.0	0.9
75	3	1.6	2.1	2.5	1.2
100	4	2.1	2.8	3.4	1.5
125	5	2.7	3.7	4.2	1.9
150	6	3.4	4.3	4.9	2.3
200	8	4.3	5.5	6.4	3.0
250	10	5.5	6.7	7.9	3.8
300	12	6.1	7.9	9.5	4.6
350	14	7.3	9.5	10.5	5.3

Diámetro		Curva 90° R/D 1 1/2	Curva 90° R/D 1	Curva 45°	Entrada normal	Entrada de borda
----------	--	------------------------	--------------------	-----------	----------------	------------------

mm	pulg.					
13	1/2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4
19	3/4	0.3	0.4	0.2	0.2	0.5
25	1	0.3	0.5	0.2	0.3	0.7
32	1 1/4	0.4	0.6	0.3	0.4	0.9
38	1 1/2	0.5	0.7	0.3	0.5	1.0
50	2	0.6	0.9	0.4	0.7	1.5
63	2 1/2	0.8	1.0	0.5	0.9	1.9
75	3	1.0	1.3	0.6	1.1	2.2
100	4	1.3	1.6	0.7	1.6	3.2
125	5	1.6	2.1	0.9	2.0	4.0
150	6	1.9	2.5	1.1	2.5	5.0
200	8	2.4	3.3	1.5	3.5	6.0
250	10	3.0	4.1	1.8	4.5	7.5
300	12	3.6	4.8	2.2	5.5	9.0
350	14	4.4	5.4	2.5	6.2	11.0

Diámetro		Válvula de compuerta abierta	Válvula tipo globo abierta	Válvula de ángulo abierta	Te paso directo	Te salida lateral
mm	pulg.					
13	1/2	0.1	4.9	2.6	0.3	1.0
19	3/4	0.1	6.7	3.6	0.4	1.4
25	1	0.2	8.2	4.6	0.5	1.7
32	1 1/4	0.2	11.3	5.6	0.7	2.3
38	1 1/2	0.3	13.4	6.7	0.9	2.8
50	2	0.4	17.4	8.5	1.1	3.5
63	2 1/2	0.4	21.0	10.0	1.3	4.3
75	3	0.5	26.0	13.0	1.6	5.2
100	4	0.7	34.0	17.0	2.1	6.7
125	5	0.9	43.0	21.0	2.7	8.4
150	6	1.1	51.0	26.0	3.4	10.0
200	8	1.4	67.0	34.0	4.3	13.0
250	10	1.7	85.0	43.0	5.5	16.0
300	12	2.1	102.0	51.0	6.1	19.0
350	14	2.4	120.0	60.0	7.3	22.0

Diámetro		Te salida bilateral	Válvula de pie	Salida de tubería	Válvula de retención tipo liviana	Válvula de retención tipo pesado
pulg.	mm					
13	1/2	1.0	3.6	0.4	1.1	1.6
19	3/4	1.4	5.6	0.5	1.6	2.4
25	1	1.7	7.3	0.7	2.1	3.2
32	1 1/4	2.3	10.0	0.9	2.7	4.0
38	1 1/2	2.8	11.6	1.0	3.2	4.8
50	2	3.5	14.0	1.5	4.2	6.4
63	2 1/2	4.3	17.0	1.9	5.2	8.1
75	3	5.2	20.0	2.2	6.3	9.7
100	4	6.7	23.0	3.2	6.4	12.9
125	5	8.4	30.0	4.0	10.4	16.1
150	6	10.0	39.0	5.0	12.5	19.3
200	8	13.0	52.0	6.0	16.0	25.0
250	10	16.0	65.0	7.5	20.0	32.0
300	12	19.0	78.0	9.0	24.0	38.0
350	14	22.0	90.0	11.0	28.0	45.0

Cuadro 2.7 Longitudes Equivalentes a pérdidas locales (expresadas en metros de tubería rectilínea)

Nota: Los valores indicadores para válvulas tipo globo se aplican también a llaves de regaderas y válvulas o llaves de descarga

2.5. Golpe de Ariete

El golpe de ariete es un fenómeno hidráulico que se presenta en las tuberías cuando se tiene un cierre brusco de válvulas, un paro de equipos de bombeo o cualquier cambio de velocidad en el flujo.

Se presenta en todas las líneas de conducción de agua cuando se tiene un paro brusco del fluido contenido en la tubería. La energía cinética que contiene el fluido debido a la velocidad de conducción, se transforma en energía potencial, que a su vez, dará origen a un incremento de la carga piezométrica original, llevándose a cabo un trabajo elástico de deformación en las paredes del conducto y el agua.

En el diseño de líneas de conducción de agua es muy importante considerar el golpe de ariete con el fin de evitar reventamientos en la tubería que podrían provocar daños personales, daños a las instalaciones hidráulicas y por ende, pérdidas económicas.

2.5.1. Explicación del fenómeno

Para explicar el golpe de ariete nos referiremos a la figura 2.4. y 2.5.

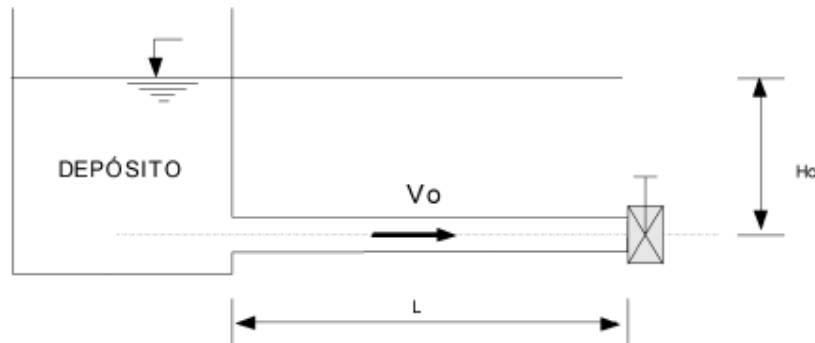


Figura 2.4. Línea de conducción

Supongamos un depósito conteniendo una gran cantidad de agua, en el instante del cierre del órgano de control (válvula) aguas abajo del depósito con una longitud “L” (figura 2.5. a), se genera una onda de presión positiva que viaja aguas arriba con una velocidad o celeridad “a”, además se provoca una deformación del conducto debido a la compresión del líquido. Una vez que la onda llega al depósito en un tiempo $t = L / a$ (figura 2.5. b), el depósito funciona como pantalla por lo que la onda regresa hacia el órgano de control aguas abajo como onda de presión negativa por lo que el conducto se contrae a su forma original (figura 2.5. c) en un tiempo $t = 2 L / a$ (figura 2.5. d). Esta fase se conoce como fase directa del golpe de ariete.

Como se puede observar en las figuras, al detenerse el líquido en el órgano de control la velocidad en esta zona se hace $V = 0$, teniéndose al principio del conducto la velocidad original $V = V_o$ (figura 2.5. a,b), la cual se iguala a cero al llegar la onda de presión al tanque. Al regresar la onda aguas abajo se provoca un movimiento del fluido hacia el depósito con una velocidad $V = V_o$, hasta que la onda de presión llega al órgano de control (figura 2.5. c,d). Este flujo hacia el depósito origina una caída de carga y una contracción de las paredes del conducto a dimensiones inferiores a las originales (figura 2.5. e), la onda viaja nuevamente aguas arriba llegando al depósito en un tiempo $t = 3 L / a$ (figura 2.5. f), el depósito funciona nuevamente como pantalla reflejando la onda como onda de presión positiva hacia el órgano de control (figura 2.5. g) hasta llegar al final en un tiempo $t = 4 L / a$ (figura 2.5. h) recuperando el conducto su forma original. Esta segunda fase se conoce como fase inversa del golpe de ariete.

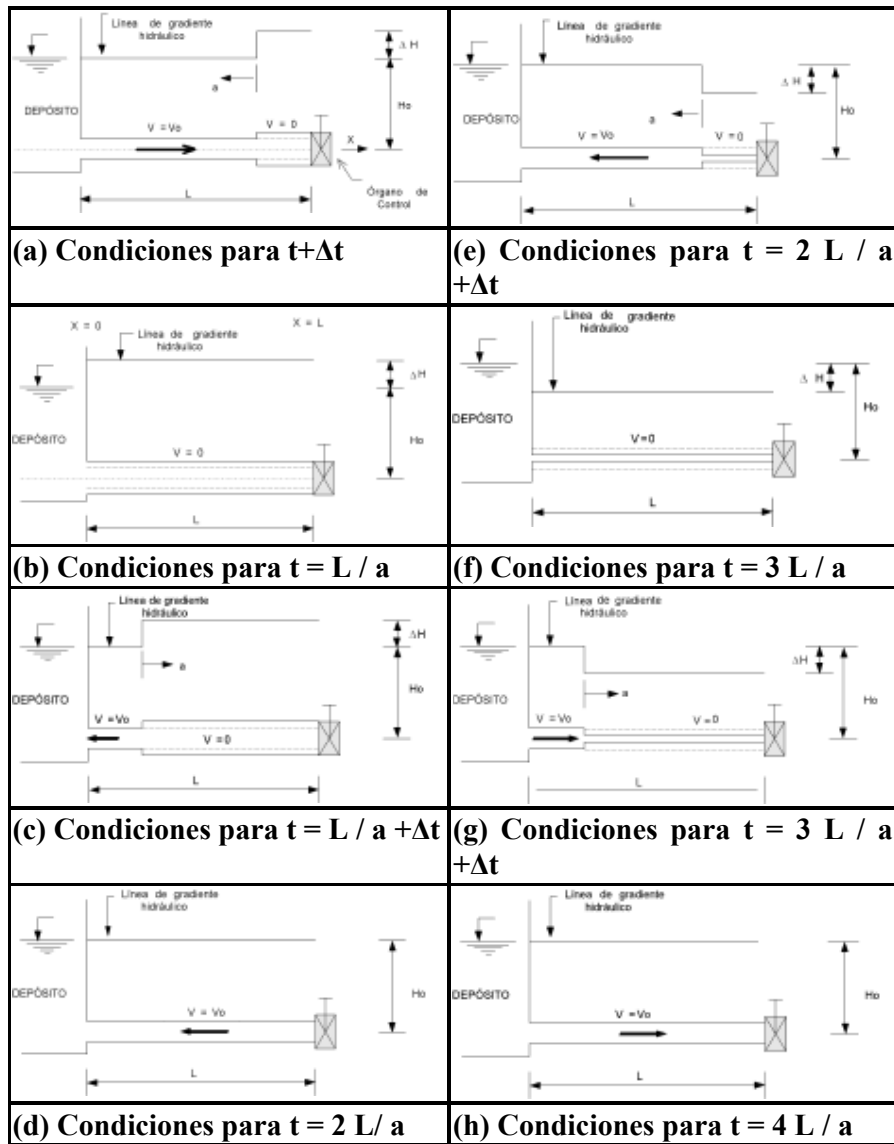


Fig. 2.5. Propagación de la onda de presión en un conducto causado por un cierre instantáneo del órgano de control (válvula, compuerta)

Si no existiera el efecto de la fricción que transforma la energía en calor, este fenómeno se repetiría indefinidamente, sin embargo, ya que prácticamente todos los conductos son hidráulicamente rugosos, la variación de la carga decrece con el tiempo.

2.5.2. Dispositivos de alivio

Un sistema hidráulico puede diseñarse con un factor de seguridad muy grande para soportar las cargas máximas y mínimas debidas al golpe de ariete. Sin embargo, para un

diseño óptimo de un sistema deberá tomarse en cuenta la instalación de uno o varios dispositivos de alivio. Los diferentes tipos de válvulas se describen a continuación:

2.5.3. Válvulas de no retorno ("check")

La válvula de no retorno, sirve para evitar la inversión de flujo en un conducto. En general, debe ser instalada en la tubería de descarga de los equipos de bombeo. Este tipo de válvula cierra normalmente de forma instantánea al presentarse la inversión del flujo.

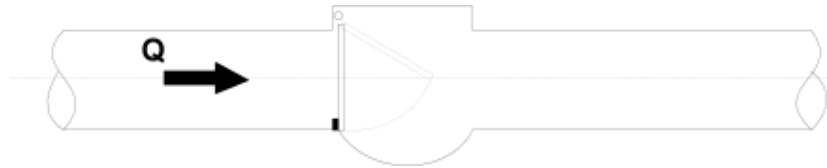


Fig. 2.6. Dibujo esquemático de una válvula de no retorno (check)

2.5.4. Válvulas de seguridad

Esta válvula sirve para disminuir el incremento de presión asociado al golpe de ariete en el sistema. Al aumentar la presión dentro del conducto se genera una fuerza tal que supera la resistencia del resorte, la válvula abre totalmente en forma instantánea.

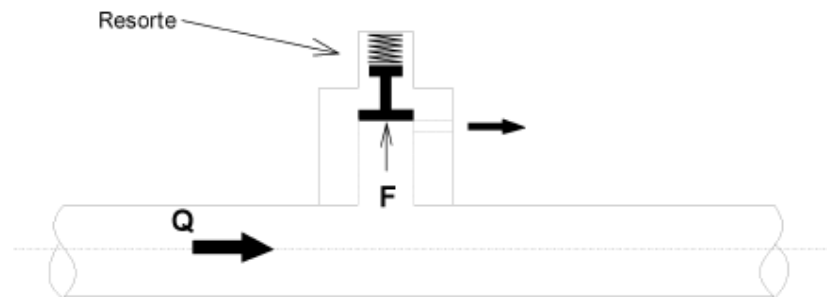


Fig. 2.7. Dibujo esquemático de una válvula de seguridad

Estas válvulas operan totalmente abiertas o totalmente cerradas.

2.5.5. Válvula aliviadora de presión o supresora de oscilaciones.

Estas válvulas tienen un funcionamiento amortiguador de la sobre presión provocada por el golpe de ariete.

Cuando la presión aumenta dentro del conducto produce una fuerza F_2 que abre la válvula (2) al vencer la resistencia del resorte, dando lugar a que circule el flujo a través de ella hacia la descarga y una disminución de presión en la cámara (3) y la generación

de una fuerza F_1 en la válvula principal haciendo de esta manera que se inicie la apertura. Como consecuencia del volumen descargado por la válvula provoca una disminución de presión del conducto por lo que la válvula (2) cierra y se establece un nuevo equilibrio que inicia el cierre de la válvula.

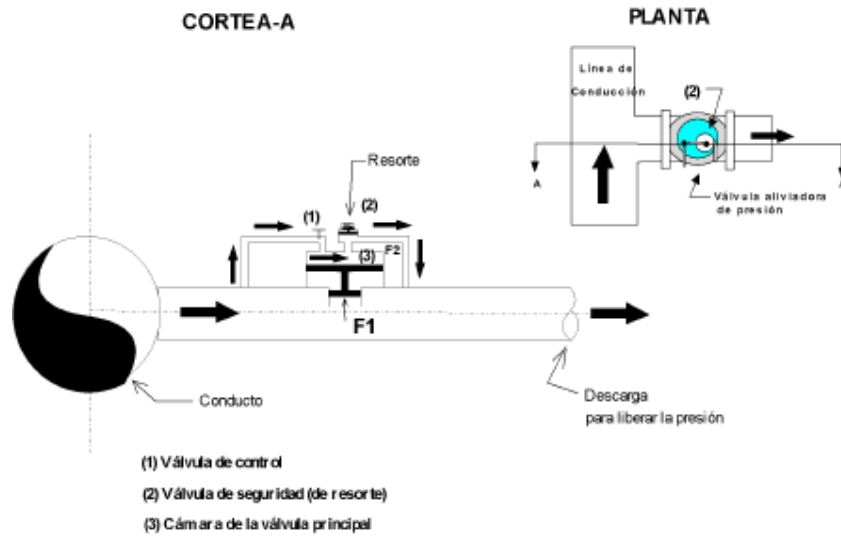


Fig. 2.8. Dibujo esquemático de una válvula aliviadora de presión.

2.5.6. Válvulas de Admisión Expulsión de Aire

Este tipo de válvulas funcionan admitiendo aire cuando por causa del golpe de ariete la presión de la sección donde está situada la válvula desciende por abajo de un límite prescrito. Expulsa aire en el llenado de la línea (los efectos del aire dentro de las tuberías se verán más adelante).

2.5.7. Instalación adecuada de las válvulas

a) Conducto por gravedad	b) Plantas de bombeo
(1) Válvula o compuerta de seccionamiento (2) Válvula de no retorno	(3) Válvula aliviadora de presión, reguladora de presión o de seguridad.

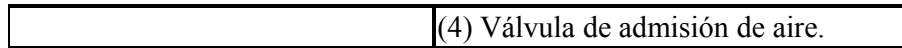


Fig. 2.9. Ubicación de las válvulas para prevenir el golpe de ariete

2.6. El aire y el vacío dentro de las tuberías

Dos de los fenómenos menos considerados en el diseño de sistemas de conducción y distribución de agua es el aire atrapado dentro de la tubería y el vacío. Muchos problemas de mal funcionamiento de las líneas se deben a estas causa. Las líneas deben ser bien ventiladas para que su funcionamiento sea óptimo.

Cuando una línea de conducción es vaciada accidentalmente por una fuga o para realizar algún mantenimiento, se requiere el ingreso de aire a la tubería con el objeto de evitar el vacío y por consecuencia el colapso o aplastamiento del tubo.

En el diseño de sistemas de conducción de agua, siempre considere la instalación de accesorios para el control del aire dentro de las tuberías.

El costo de los accesorios de control de aire representa un mínimo porcentaje respecto al costo total de la conducción.

Cuando no tiene accesorios de control en los sistemas de conducción, el aire atrapado, llega a obstruir el flujo de agua reduciéndolo hasta un 10 % o más debido a las bolsas de aire formadas en las partes altas de la tubería.

En este apartado se explicaran estos dos problemas y posibles soluciones.

2.6.1. Explicación del fenómeno

Cuando se tiene una línea nueva el aire es atrapado durante el llenado en puntos altos; en líneas funcionando regularmente, el aire disuelto en el agua se libera al haber cambios de presiones debidos a cambios en la velocidad del flujo. La literatura señala que a 20 °C a presión atmosférica, el contenido de aire en el agua es de 20 litros por m³, la solubilidad del aire en el agua está regida por la presión y la temperatura. En circunstancias ordinarias el agua contiene más del 2% del aire disuelto en volumen y a veces aún más.

El origen del aire en las tuberías se debe a lo siguiente:

- "Cuando una bomba se pone en marcha, el aire es comprimido desde la bomba hacia la red."
- "El bombeo mismo puede causar una acción vortex en puntos de aspiración. Esto dará como resultado una aspiración de aire que se introducirá en el sistema pudiendo alcanzar hasta un 15 % en volumen del agua bombeada."

•"Cuando ocurre un salto hidráulico durante la transición de sección con caudal parcialmente lleno a sección totalmente llena, llevará aire de la sección parcialmente llena a la sección totalmente llena"

Problemas relacionados al de aire en las tuberías.

a)Disminución del flujo: Al tener aire dentro de las tuberías se formaran bolsas de aire en los puntos de variación de la pendiente. Cuando se tienen equipos de bombeo, se requerirá una mayor presión con menor eficiencia de la bomba. En los conductos por gravedad, debido a que no existe presión para empujar el aire, se tendrán mayores problemas teniéndose en ocasiones cese de flujo (ver figuras 2.10. y 2.11)

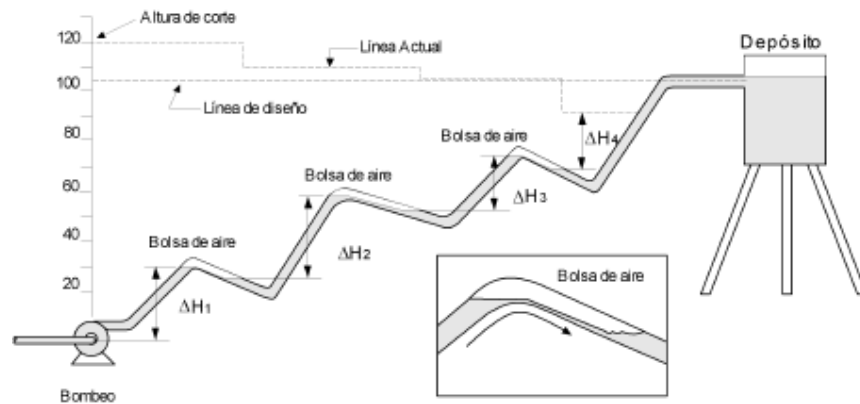


Fig. 2.10. Cese del flujo debido a bolsas de aire en una tubería a presión

$$\Delta H1 + \Delta H2 + \Delta H3 + \Delta H4 = \text{Altura de corte (120 m)}$$

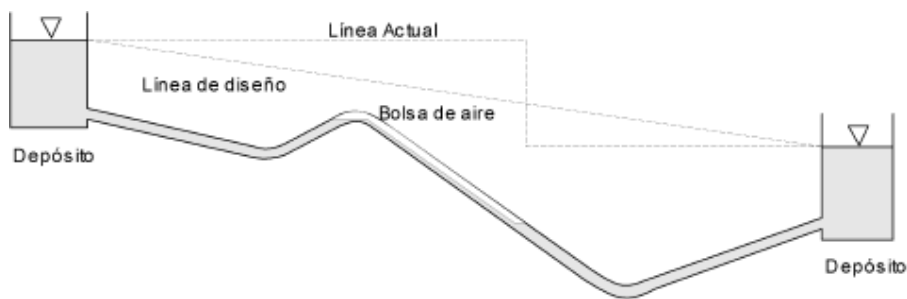


Fig. 2.11. Cese del flujo debido a bolsas de aire en una tubería a baja presión (gravedad).

b)Cavitación: Dentro de la tubería, al reducirse la sección, aumenta la velocidad teniéndose una caída local de presión y la formación de burbujas de vapor; las cuales se colapsan cuando las condiciones de flujo vuelven a ser normales, provocando erosión.

La acción destructiva de la cavitación puede ser evitada suministrando aire a la tubería.

c) Exactitud de medidas y contadores: La presencia de aire en el agua provoca un error en los medidores de flujo, ya que muchos medidores se basan en la velocidad del flujo. La velocidad del aire, a igualdad de presión y temperatura, es 29 veces superior a la del agua.

Evacuando el aire en las proximidades de los medidores se garantiza la exactitud de las medidas.

2.6.2. Accesorios para prevenir y controlar el aire así como el vacío en las tuberías.

Existen varias clasificaciones de las válvulas para controlar el aire, algunas se basan en el tamaño del orificio por lo que las clasifican como: válvulas de orificio pequeño y válvulas de orificio grande . La siguiente clasificación se basa principalmente en el funcionamiento de las válvulas:

Válvulas eliminadoras de aire o automáticas: Las cuales funcionan en los sistemas presurizados expulsando el aire que se libera del agua al haber cambios de presión en la tubería por cambios topográficos.

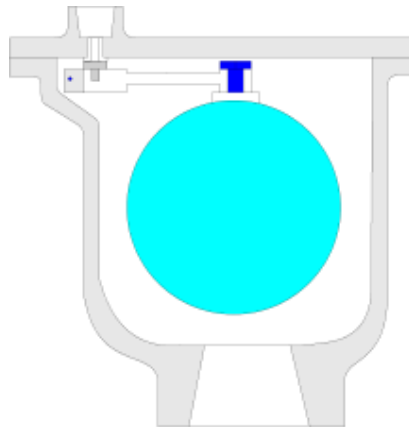


Fig. 2.12. Válvula eliminadora de aire

Válvula de admisión y expulsión de aire: Las cuales funcionan para evacuar el aire durante el llenado de las tuberías y para admitir aire en el vaciado, sea accidental o intencionado.

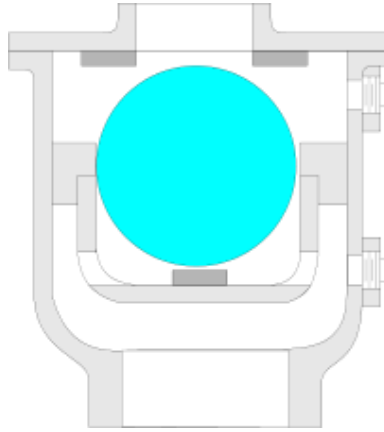


Fig. 2.13. Válvula de admisión y expulsión de aire

Válvulas combinadas o de doble propósito: Las cuales combinan el funcionamiento de los dos tipos anteriores, por un lado admiten y expulsan aire, en el llenado y vaciado de la tubería y por otro evacuan el aire que se libera del agua.

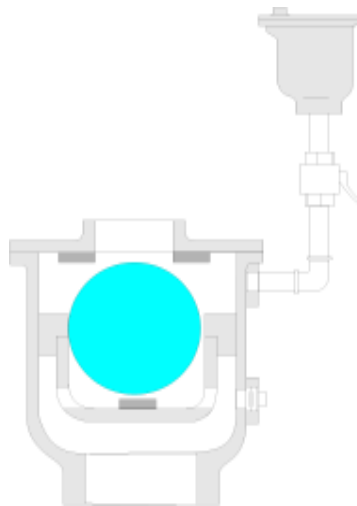


Fig. 2.14. Válvula combinada o de doble propósito

2.6.3. Cálculo del diámetro mínimo de las válvulas.

La selección del diámetro de las válvulas para el control del aire se hace mediante los gráficas de funcionamiento de las válvulas publicadas regularmente por los fabricantes, en las cuales se entra con una presión diferencial (máximo 5 PSI, -0.35 kg/cm² -) y el caudal de aire. También existen reglas de cálculo, entrando con el gasto de la tubería (o con la pendiente y el diámetro del conducto) se obtiene el diámetro necesario de la válvula.

Selección de válvulas de Admisión y Expulsión de Aire

Se recomienda para seleccionar el diámetro de las válvulas de admisión y expulsión de aire lo siguiente:

1• "Para determinar el diámetro mínimo permisible de la válvula capaz de **expulsar** aire en pies cúbicos por segundo (PCS) no debe exceder la presión diferencial de 0.14 kg/cm² (2 PSI)."

2• "El diámetro mínimo permisible de la válvula capaz de **admitir** aire en PCS se determinará tolerando una presión diferencial máxima de 0.35 kg/cm² (5 PSI) a través del orificio de la válvula."

"En tramos de tubería operada por gravedad, donde la pendiente sea más pronunciada, la velocidad del agua aumentará considerablemente. En tal caso el flujo equivalente será mayor y puede calcularse por medio de la fórmula siguiente:

$$\text{Flujo en PCS} = 0.086592 \sqrt{PD^5} \quad \text{Ecuación 2.31}$$

Donde:

PCS = Pies cúbicos por segundo

P = Pendiente (m/m)

D = Diámetro de la tubería (pulg.)"

3• Los diámetros se obtienen entrando a las gráficas de funcionamiento proporcionadas por los fabricantes para presiones diferenciales de 0.14 y 0.35 kg/cm² (2 y 5 PSI) para **expulsar** y **admitir** aire respectivamente. Se seleccionará la válvula que dé el diámetro mayor de las dos. La cual se instalará en los puntos altos de la tubería.

Selección de Válvulas Eliminadoras de Aire

No existen métodos para la selección del diámetro de este tipo de válvulas, todas las recomendaciones están basadas en la experiencia, sin embargo como la cantidad de aire disuelto en el agua que se libera dependen directamente de la presión y temperatura del conducto, se da a continuación una guía aproximada para seleccionar la válvula según el tamaño del orificio necesario para eliminar el aire.

<i>Presión en PSI (kg/cm²)</i>							
Diámetro	Gasto	1 a 50*		1 a 150*		1 a 300*	
Máximo		(0.07 a 3.5)		(0.07 a 10.5)		(0.07 a 21.1)	
de la Tubería	Máxi- mo	Diámetro	Capacidad	Diámetro	Capa cidad	Diámetro	Capa cidad

		del orificio de salida			del orificio de salida		metro del orificio de salida	
pulg	mm	lbs	pulg	PCM	pulg	PCM	pulg	PCM
6	160	50	3/32"	5	1/16"	6	0	0
10	250	140	1/8"	9	3/32"	14	1/16"	12
16	400	330	1/8"	9	1/8"	24	5/64"	18
48	1,200	3,150	5/16"	58	3/16"	54	3/32"	26
96	2,400	9,500	1/2"	149	3/8"	220	7/32"	143

Cuadro 2.8. Guía para seleccionar la válvula eliminadora de aire necesaria

Nota: La capacidad máxima de venteo en Pies Cúbicos por Segundo (PCS) a la presión máxima

2.6.4. Colocación de las válvulas.

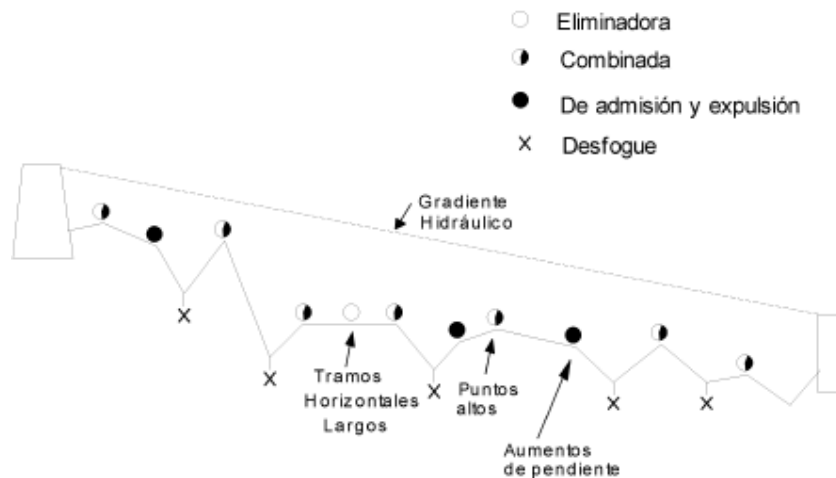


Fig. 2.15. Localización de las válvulas de control de aire

- Además se recomienda instalar las válvulas en:
- Puntos donde la tubería salga del suelo, por ejemplo en la instalación de válvulas de control. Si después de la válvula la tubería asciende, instalar una eliminadora de aire, si desciende y hay peligro de vaciado rápido, una válvula combinada.
- En tuberías con pendiente uniforme se recomiendan entre 400 y 800 m
- En los equipos de bombeo, antes de la válvula de retención (check) se recomienda instalar una válvula de admisión y expulsión de aire.
- Se debe instalar una válvula combinada antes de los medidores (10 diámetros) para evitar error en las mediciones y daños al equipo.
- En el cruce de carreteras, después del cruce una válvula combinada.

2.7 Redes de distribución

Un adecuado sistema de distribución debe ser capaz de proporcionar agua en cantidad adecuada, de calidad satisfactoria, y a la presión suficiente cuándo y dónde se requiera dentro de la zona de servicio.

Dependiendo de factores como la disposición de las calles, la topografía de la localidad, localización de las obras de regulación y tratamiento, etc.. se dará la configuración del sistema de distribución.

2.7.1. Clasificación de los sistemas de distribución

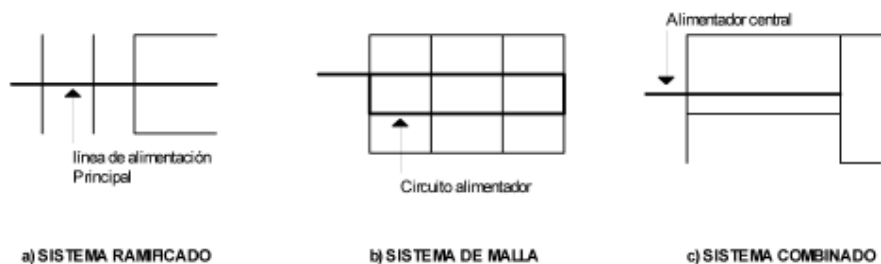


Fig. 2.16 Configuración de sistemas de distribución

a) Sistema ramificado.

La estructura del sistema es similar a un árbol. La línea de alimentación o troncal es la principal fuente de suministro de agua, y de esta se derivan todas las ramas.

Desventajas:

- "En los extremos finales de las ramas se pueden presentar crecimientos bacterianos y sedimentación debido a estancamiento."

- "Es difícil que se mantenga una cantidad de cloro residual en los extremos muertos de la tubería."
- "Cuando se tienen que hacer reparaciones a una línea individual en algún punto, deben quedar sin servicio las conexiones que se encuentran más allá del punto de reparación hasta que ésta sea efectuada."
- "La presión en los puntos terminales de las ramas puede llegar a ser indeseablemente baja conforme se hacen ampliaciones a la red."

b) Sistema en malla.

El rasgo distintivo de este sistema es que todas las tuberías están interconectada y no hay terminales ni extremos muertos. En estos sistemas el agua puede alcanzar un punto dado desde varias direcciones, superando todas las dificultades del sistema ramificado. La desventaja es que el diseño es más complicado.

c) Sistema combinado.

Consiste en la combinación de los dos sistemas anteriores cuando se hacen ampliaciones al sistema agregando nuevas ramas o mallas. Tiene la ventaja de permitir el uso de alimentadores en circuito que suministran agua a una área desde más de una dirección.

2.7.2. Componentes del sistema de distribución

Tuberías: El sistema esta compuesto de tuberías que dependiendo de su diámetro y de la posición relativa respecto a las demás tuberías se designan como: Líneas de alimentación, líneas principales y líneas secundarias.

Líneas de alimentación. Son aquellas que parten, en el caso que sea un sistema por gravedad, desde el tanque o tanques de regulación a la red; cuando es por bombeo conectado en forma directa, las que va de la bomba a la red.

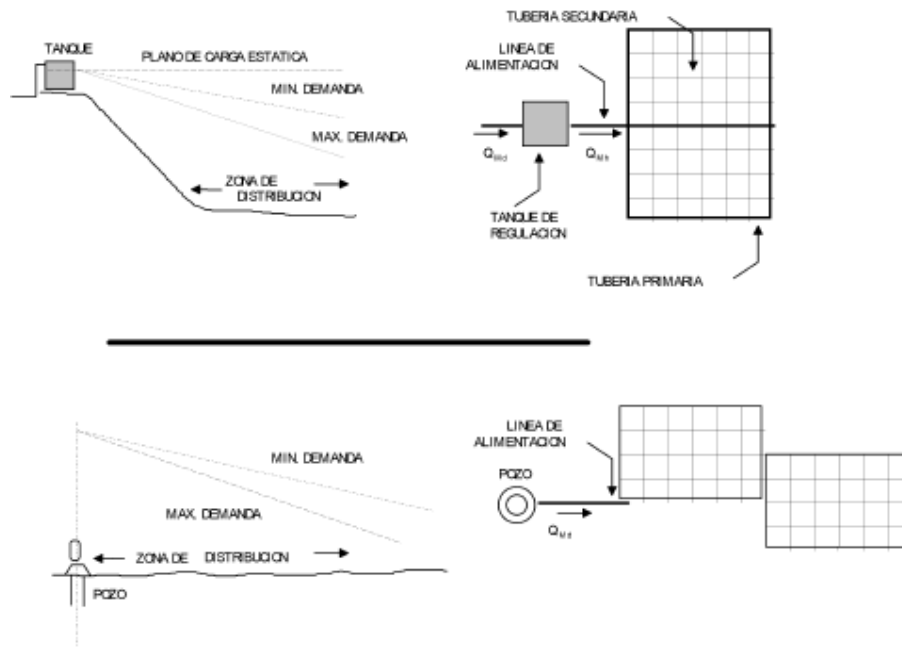


Fig. 2.17. Sistema de abastecimiento por gravedad y por bombeo

Las líneas principales. Son las tuberías que forman los circuitos localizándose a distancias entre 400 a 600 m. En el sistema ramificado es la tubería troncal de donde se sacan las derivaciones. A estas líneas están conectadas las líneas secundarias.

Las líneas secundarias o de relleno. Son aquellas que, después de ser localizadas las tuberías principales, se utilizan para cubrir el área.

La toma domiciliaria. Es la parte de la red gracias a la cual los habitantes de la población tienen agua en su propio predio.

2.7.3. Presiones requeridas y velocidad de flujo

El siguiente cuadro muestra la distribución de presiones en la red clasificado en zonas.

Zona	Presión disponible (kg/cm ²)
Residencial de 2 ^a	1.5 a 2.0
Residencial de 1 ^a	2.0 a 2.5
Comercial	2.5 a 4.0
Industrial	3.0 a 4.0

Cuadro 2.9. Presiones usuales en la red de distribución.

La presión mínima debe ser de 15 m de columna de agua máxima de 50 m. Para el cálculo de la presión máxima se partirá de la elevación máxima en el estanque.

Las velocidades están comprendidas entre 1.2 y 1.8 m/s.

Para el diseño de la red de distribución se debe disponer de un plano topográfico de la población de escala 1:2000 con curvas de nivel con equidistancias a cada 0.50 m por lo menos, con cotas en las intersecciones de las calles.

2.7.4. Diseño de sistemas de distribución ramificados

Los pasos generales para el diseño son los siguientes:

1. Inicialmente se identifican las distintas zonas de distribución en función de su actividad, esto es, Residencial, Comercial e Industrial.
2. Realizar un trazo preliminar de la red, partiendo del conducto primario para de este sacar las distintas ramificaciones necesarias para llevar el agua a los distintos puntos o zonas de distribución. Se anotan las longitudes de cada tramo.
3. Calcular un coeficiente de gasto por metro lineal de tubo, dividiendo el gasto máximo horario entre la longitud virtual de la red.

La longitud virtual es un concepto que se utiliza para determinar el gasto que circulará por cada tramo de tubo, a este se le denomina gasto propio.

2.7.5. Diseño de sistemas de distribución en malla

Cuando se trata de un sistema de distribución en malla para una nueva área puede mecanizarse en los siguientes pasos:

1. Contar con un plano topográfico, escala 1:2000 con curvas de nivel equidistantes a 0.50 m o por lo menos con las cotas de cada intersección de las calles presentes y futuras
2. Basado en la topografía seleccionar la posible localización del tanque de regularización, en caso de áreas muy grandes se puede contemplar la posibilidad de dividir esta en subáreas con sistemas de distribución separados.
3. Contar con un trazo tentativo de la red de distribución en malla mostrando las líneas de alimentación.
4. Estimar el gasto máximo horario para el área o subáreas, según corresponda, tomando en cuenta el crecimiento del futuro.
5. Asignar una dirección al flujo y calcular el gasto propio de cada tramo de tubería. Cuando se considera un consumo uniforme, el gasto propio se estima empleando un caudal unitario, es decir, por metro de longitud de tubería, que resulta de dividir el gasto

máximo horario total demandado por la población entre la longitud virtual total de los circuitos principales. Si se consideran zonas de distintos consumos, se calcula según su amplitud, a partir de un gasto por unidad de área, distinto para cada zona de consumo.

6. En forma ficticia, que se interrumpe la circulación del agua en unos tramos para simular una red abierta, con el objeto de definir perfectamente cual tubería alimenta a las otras. Así se llegan a definir puntos en los que ya no existe posibilidad de alimentación a otros tramos, los cuales reciben el nombre de puntos de equilibrio.

7. Acumular los gastos propios calculados en el paso 5 en sentido contrario al escurrimiento, partiendo de los puntos de equilibrio hasta llegar al punto de alimentación de la red.

8. Calcular el diámetro de las tuberías utilizando el gasto acumulado en cada tramo

9. Usando algunos de los métodos disponibles, analizar los gastos y presiones de la red de distribución. Para cada subárea se deberá hacer un análisis.

10. Ajustar el diámetro de la tubería para corregir irregularidades de presión en la red.

11. Con los diámetros ajustados, reanalice la capacidad hidráulica del sistema.

12. Añada las tuberías secundarias o de relleno.

13. Localice las válvulas necesarias.

14. Prepare los planos de diseño final.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
De relajación	Es un procedimiento de ensayo error en el que se aplican correcciones sistemáticas a: 1) un conjunto de gastos asumidos 2) un conjunto inicial de cargas asumidas, hasta que la red este balanceada hidráulicamente
De secciones	La malla del sistema de distribución se corta en una serie de secciones, y la capacidad de las tuberías se

	compara con la demanda aguas abajo.
De la tubería equivalente	La tubería de una red de distribución se reemplaza con una tubería sencilla de capacidad equivalente.
Del círculo	La tubería de un sistema de distribución tributarias a un hidrante central o grupo de hidrantes, se cortan con un círculo y se evalúa la capacidad de la tubería para cubrir la demanda.
De análisis con computadora	Se escriben algoritmos para resolver las ecuaciones básicas para el análisis de una red de tubos. Los algoritmos se resuelven usando computadora. También se dispone de programas comerciales para resolver estos problemas.
Analogía eléctrica	El sistema de distribución es modelado con componentes eléctricamente equivalentes . Por ejemplo, resistencias no lineales se usan para simular la fricción en tubería. Si la corriente entrante y

	saliente son proporcionales al flujo de agua, entonces las pérdidas de carga serán proporcionales a la caída de voltaje.
--	--

Cuadro 2.10. Métodos de realización.

2.8. Efecto de la deflexión de la tubería en la capacidad de conducción.

Al deflexionarse el tubo de PVC, el área de sección transversal del tubo se ve ligeramente reducida. El área elíptica de sección transversal después de la ovalación del tubo será un poco menor que el área de sección transversal antes de la deflexión.



Figura 2.18. Efecto de la deflexión en la conducción en tubos de PVC

Para comparar el área seccional entre un tubo sin deflexión (forma circular) y uno deflexionado (forma elíptica) se tienen las siguientes relaciones:

$$C = \pi D \quad \text{Ecuación 2.32}$$

$$C_2 = 4aE(e) \quad \text{Ecuación 2.33}$$

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad \text{Ecuación 2.34}$$

Donde:

C = Perímetro del círculo

D = Diámetro interno no deflexionado

C2 = Perímetro del tubo deflexionado

E (e) = Función elíptica del primer tipo de e. (excentricidad numérica)

Por otro lado se tienen las siguientes relaciones para calcular el área de la elipse.

$$Ae = \pi \times a \times b \quad \text{Ecuación 2.35}$$

Donde:

Ae = área de la elipse (m²)

a = Radio largo de la elipse (m)

b = Radio corto de la elipse (m)

La fórmula 2.5 muestra la relación para obtener el área del círculo.

El área del tubo deflexionado se calculó asumiendo que los perímetros del tubo deflexionado y sin deflexión son iguales (C2 = C) el cuadro 2.11. muestra el efecto de la deflexión en el área y el gasto.

DEFLEXION (%)	% REDUCCIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE FORMA CIRCULAR A ELÍPTICA	% REDUCCIÓN DEL GASTO
5.0	0.366	0.6
7.5	0.898	1.3
10.0	1.431	2.4
15.0	3.146	5.2
20.0	5.473	8.9
25.0	8.378	13.6
30.0	11.814	18.9
35.0	15.761	24.9

Cuadro 2.11. Reducción de la sección transversal del tubo y el gasto debido a la deflexión.

2.9. Equipos de bombeo

Dentro del diseño de sistemas de conducción de agua potable es común la instalación de equipos de bombeo, una correcta selección de la bomba permite tener eficiencias altas en el equipo por lo tanto consumos menores de energía y costos anuales más bajos.

En el mercado existen vario tipos de bombas: centrífugas, de flujo axial y flujo mixto entre otras. En los rebombes regularmente se utilizan bombas centrífugas y en pozos profundos las de flujo axial.

2.9.1. Definiciones

Las siguientes definiciones fueron tomadas de la norma NOM-101-SCFI-1994, publicada en el Diario Oficial de la Federación del viernes 13 de enero de 1995

Bomba Centrífuga: Es aquella que suministra energía al fluido de trabajo para que éste aumente su velocidad dentro de la carcasa a valores mayores que los que ocurren en la válvula de descarga, de tal forma que las subsecuentes reducciones de velocidad producen un incremento en la presión.

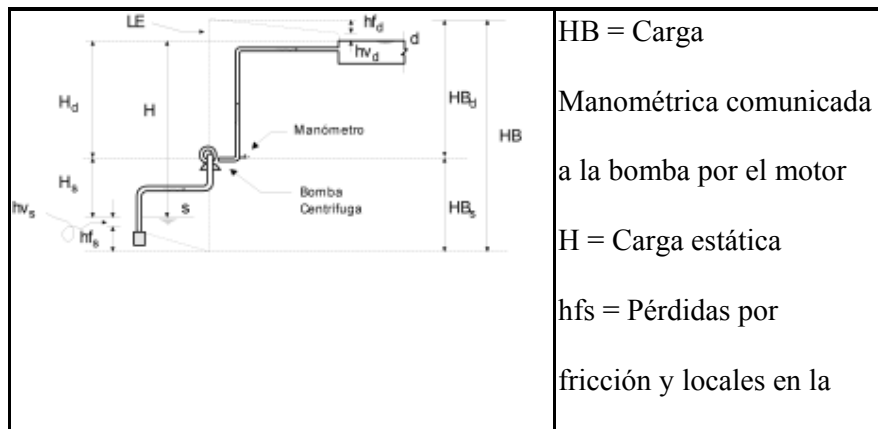
Carga: La carga en una red hidráulica es la presión a la que se encuentra el fluido de trabajo.

Caudal o Gasto: Es el volumen del fluido de trabajo que fluye por unidad de tiempo. En una bomba se refiere a la cantidad de agua que es capaz de entregar para una condición de carga dada.

Eficiencia: Es la razón de la potencia en el agua a la salida de la bomba entre la potencia de entrada a la flecha de la bomba.

2.9.2. Relaciones hidráulicas de un equipo típico de bombeo.

Cuando se va utilizar un equipo de bombeo en el diseño de tuberías también son aplicables las relaciones de pérdidas mencionadas en los primeros apartados de este capítulo. Al hacer el análisis de una línea de bombeo se usa la relación propuesta por Bernoulli, para ello nos referiremos a la siguiente figura:



	succión
	hfd = Pérdidas por fricción y locales en la descarga
	hv = Carga por velocidad
	LE = Línea de Energía

Fig. 2.19. Esquema hidráulico de una línea de conducción con equipo de bombeo

Al aplicar la ecuación de Bernoulli entre las superficies libres del agua (SLA) s y d tenemos:

$$Z_s + \frac{P_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + HB = Z_d + \frac{P_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} + h_{t_{s-d}} \quad \text{Ecuación 2.36}$$

Siendo:

HB = Carga de bombeo (m)

hts-d= Pérdidas de carga en la succión y la descarga (m)

hts-d = hfs + hfd = fs + hxs + fd + hxd

hfs= Pérdidas de carga en la succión (m)

hfd= Pérdidas de carga en la descarga (m)

fs= Pérdidas de carga por fricción en la succión (m)

fd= Pérdidas de carga por fricción en la descarga (m)

hxs= Pérdidas de carga locales (por conexiones) en la succión (m)

hxd= Pérdidas de carga locales (por conexiones) en la descarga (m)

Todos los demás términos definidos en el apartado 6.1.

La carga por presión $h_p = P/\gamma$ se elimina en ambos miembros de la ecuación por estar expuestos a la presión atmosférica. La carga por velocidad $h_v = V^2/2g$ en el carcamo de bombeo tiende a cero, en la descarga si la tubería esta ahogada (figura anterior) la h_v también tiende a cero; si la descarga es libre es necesario calcular el valor de h_v . La

diferencia entre las cargas por posición $\Delta Z = Z_d - Z_s$ es el desnivel entre las SLA de los tanques, o entre la SLA del cárcamo y la altura de la tubería cuando la descarga es libre. La ecuación (2.36) queda de la siguiente manera, al despejar para la carga de bombeo (HB) en ambos casos:

Descarga ahogada:

$$HB = \Delta Z + ht_{s-d} \quad \text{Ecuación 2.37}$$

Descarga libre:

$$HB = \Delta Z + hv_d + ht_{s-d} \quad \text{Ecuación 2.38}$$

Donde:

HB = Carga de bombeo (m)

ΔZ = Desnivel entre la SLA del cárcamo y la SLA del tanque o el nivel de la tubería de descarga (m)

$\Delta Z = Z_d - Z_s$

hvd = Carga por velocidad de la tubería de descarga (m)

$hts - d$ = Pérdidas de carga por fricción y locales entre la succión y la descarga (m)

De la figura 2.18. podemos obtener las siguientes relaciones, tomando los valores por abajo del eje de la bomba (ojo del impulsor), como negativos y por arriba como positivos :

$$HB = HB_d - HB_s \quad \text{Ecuación 2.39}$$

$$HB_d = H_d + hv_d + hf'_d \quad \text{Ecuación 2.40}$$

$$HB_s = -H_s - hf'_s \quad \text{Ecuación 2.41}$$

La carga por bombeo queda:

$$HB = (H_d + H_s) + hv_d + (hf'_s + hf'_d) \quad \text{Ecuación 2.42}$$

Donde:

$(H_d + H_s) = H = \Delta Z$ = Desnivel entre la SLA del cárcamo y la SLA del tanque en descarga ahogada, o a la altura de la tubería en descarga libre (m)

h_{vd} = Carga por velocidad en la descarga (m) ($h_{vd} = 0$ para descarga ahogada)

$(h_{fs} + h_{fd}) = h_{ts-d}$ = Pérdidas de carga en la succión y la descarga (m)

Por lo que la fórmula (2.42) es igual a las fórmulas (2.37) y (2.38)

2.9.3. Carga Neta Positiva de Succión (CNPS)

La carga positiva de succión (CNPS) puede ser definida como la carga absoluta total de succión a la entrada de la bomba menos la presión de vapor del agua. La cavitación ocurre cuando el CNPS disponible en la entrada de la bomba es menor que el CNPS mínimo requerido. El CNPS mínimo requerido es determinado por los fabricantes de bombas mediante pruebas a cada modelo. En la siguiente figura se muestran los dos casos de posición del tanque en la succión.

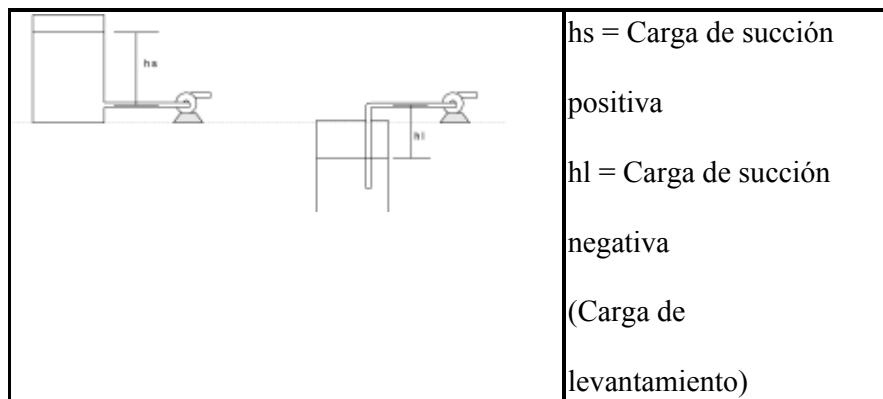


Fig. 2.20. Posición del tanque en la succión

El CNPS disponible puede ser calculada con las siguientes ecuaciones:

a) Para carga de succión positiva (h_s)

$$CNPS_{disp} = h_s - h_{f_s} + P_{atm} - P_v \quad \text{Ecuación 2.43}$$

Donde:

$CNPS_{disp}$ = Carga Neta Positiva de Succión disponible (m)

h_s = Carga de succión positiva (m)

h_{f_s} = Pérdidas de carga por fricción y locales en la descarga (m)

P_{atm} = Presión atmosférica (m)

= $P_{bar} / \rho g$

P_{bar} = Presión manométrica (m) (Fig. 2.20., cuadro 2.12.)

g_s = Gravedad específica (adim) (cuadro 2.13.)

P_v = Presión de vapor (m)

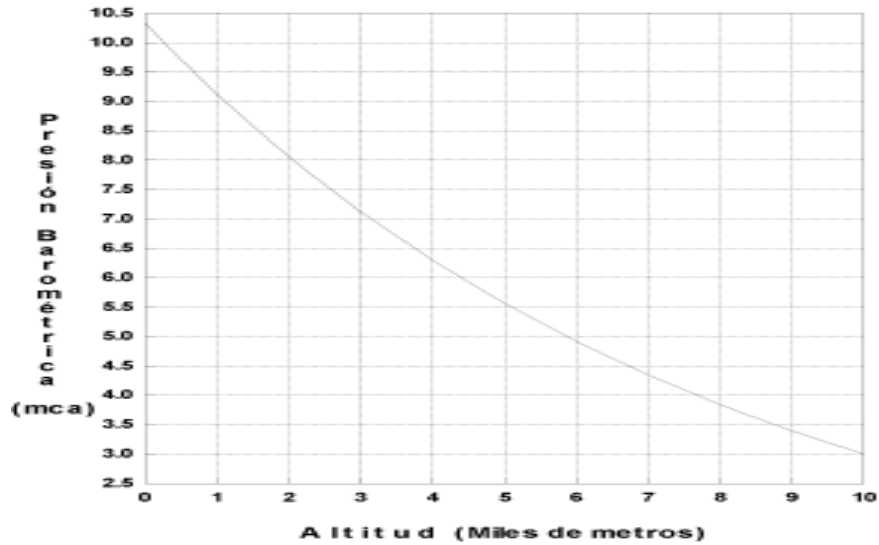


Fig. 2.21. Presión barométrica para diferentes alturas sobre el nivel del mar

Altitud		Presión barométrica		Altitud		Presión barométrica	
msnm	bar	mca	msnm	bar	mca	msnm	bar
0	760.00	10.33	1900	600.71	8.16		
100	750.65	10.20	2000	593.32	8.06		
200	741.41	10.08	2100	586.02	7.97		
300	732.29	9.95	2200	578.81	7.87		
400	723.28	9.83	2300	571.69	7.77		
500	714.38	9.71	2400	564.65	7.67		
600	705.60	9.59	2500	557.71	7.58		
700	696.91	9.47	2600	550.84	7.49		
800	688.34	9.36	2700	544.07	7.40		
900	679.87	9.24	2800	537.37	7.30		
1000	671.51	9.13	2900	530.76	7.21		
1100	663.25	9.01	3000	524.23	7.13		
1200	655.09	8.90	4000	463.19	6.30		
1300	647.03	8.79	5000	409.26	5.56		
1400	639.07	8.69	6000	361.61	4.91		
1500	631.20	8.58	7000	319.50	4.34		

1600	623.44	8.47	8000	282.30	3.84
1700	615.77	8.37	9000	249.43	3.39
1800	608.19	8.27	10000	220.38	3.00

Cuadro 2.12. Presión barométrica para diferentes alturas sobre el nivel del mar

Temperatura		Presión de vapor		
°F	°C	Pies	Metros	gs
60	15.6	0.6	0.18	0.999
70	21.1	0.9	0.27	0.998
80	26.7	1.2	0.37	0.997
85	29.4	1.4	0.43	0.996
90	32.2	1.6	0.49	0.995
100	37.8	2.2	0.67	0.993
110	43.3	3.0	0.91	0.991
120	48.9	3.9	1.19	0.989
130	54.4	5.0	1.52	0.986
140	60.0	6.8	2.07	0.983
150	65.6	8.8	2.68	0.981
151	66.1	9.0	2.74	0.981
152	66.7	9.2	2.80	0.980
153	67.2	9.4	2.87	0.980
154	67.8	9.7	2.96	0.979
155	68.3	9.9	3.02	0.979
156	68.9	10.1	3.08	0.979
157	69.4	10.4	3.17	0.978
158	70.0	10.7	3.26	0.978
159	70.6	10.9	3.32	0.978
160	71.1	11.2	3.41	0.977
161	71.7	11.5	3.51	0.977
162	72.2	11.7	3.57	0.977
163	72.8	12.0	3.66	0.976
164	73.3	12.3	3.75	0.976
165	73.9	12.6	3.84	0.976
166	74.4	12.9	3.93	0.975
167	75.0	13.3	4.05	0.975
168	75.6	13.6	4.15	0.974

169	76.1	13.9	4.24	0.974
170	76.7	14.2	4.33	0.974
171	77.2	14.5	4.42	0.973
Temperatura		Presión de vapor		
°F	°C	Pies	Metros	gs
172	77.8	14.9	4.54	0.973
173	78.3	15.2	4.63	0.973
174	78.9	15.6	4.75	0.972
175	79.4	15.9	4.85	0.972
176	80.0	16.3	4.97	0.972
177	80.6	16.7	5.09	0.971
178	81.1	17.1	5.21	0.971
179	81.7	17.4	5.30	0.971
180	82.2	17.8	5.43	0.970
181	82.8	18.3	5.58	0.970
182	83.3	18.7	5.70	0.970
183	83.9	19.1	5.82	0.969
184	84.4	19.5	5.94	0.969
185	85.0	20.0	6.10	0.969
186	85.6	20.4	6.22	0.968
187	86.1	20.9	6.37	0.968
188	86.7	21.4	6.52	0.967
189	87.2	21.8	6.64	0.967
190	87.8	22.3	6.80	0.966
191	88.3	22.8	6.95	0.966
192	88.9	23.3	7.10	0.965
193	89.4	23.8	7.25	0.965
194	90.0	24.3	7.41	0.965
195	90.6	24.9	7.59	0.964
196	91.1	25.4	7.74	0.964
197	91.7	25.9	7.89	0.963
198	92.2	26.6	8.11	0.963
199	92.8	27.1	8.26	0.963
200	93.3	27.6	8.41	0.963
201	93.9	28.2	8.60	0.962
203	95.0	29.4	8.96	0.962
204	95.6	30.0	9.14	0.961

Cuadro 2.13. Presión de vapor y gravedad específica (gs) a diferentes temperaturas

a) Para carga de succión negativa (hs)

$$CNPS_{disp} = P_{atm} - hl - hf_s - P_v \quad \text{Ecuación 2.44}$$

Donde:

CNPSdisp = Carga Neta Positiva de Succión disponible (m)

hl = Carga de succión negativa (m)

hfs = Pérdidas de carga por fricción y locales en la succión (m)

Patm = Presión atmosférica (m)

= Pbar /gs

Pbar = Presión manométrica (m) (Fig. 2.20., cuadro 2.12.)

gs = Gravedad específica (adim) (cuadro 2.13.)

Pv = Presión de vapor (m)

La CNPSdisp debe ser menor a la CNPSdisp ya que de no ser así se presentará cavitación en el equipo de bombeo, dando como resultado una disminución en la carga de bombeo, hasta la destrucción del equipo en un corto período de tiempo.

2.9.4. Curvas características de las bombas

Las curvas características describen el funcionamiento de las bombas, dichas curvas consisten en:

Curva de Carga vs Descarga (H vs Q): La cual describe la gama de gastos de funcionamiento de la bomba y las cargas asociadas a ellos. Se utilizan para seleccionar la bomba cuyas características se adapten al flujo y cargas necesarias a la máxima eficiencia.

Curva de Eficiencia vs Descarga (η vs Q): Describe las eficiencias asociadas a diferentes relaciones de H y Q. Las bombas tienen un punto de eficiencia máxima por lo que al seleccionar el equipo se debe buscar la relación H - Q - η idónea. Las eficiencias de las bombas son obtenidas en laboratorio.

Curva de Potencia vs Descarga (BHP vs Q): Describen la potencia al freno en caballos de potencia (Horse power) asociados a diferentes relaciones de H y Q

Curva de Carga Neta Positiva de Succión requerida vs Descarga (CNPSreq vs Q): Muestra la carga en la boquilla de succión de la bomba, necesaria para vencer la suma de todas las pérdidas en la succión de la bomba hasta que el fluido entra en el impulsor. Es mínima a bajo flujo y se incrementa conforme aumenta el flujo.

La siguiente figura muestra de forma esquemática las curvas características de una bomba.

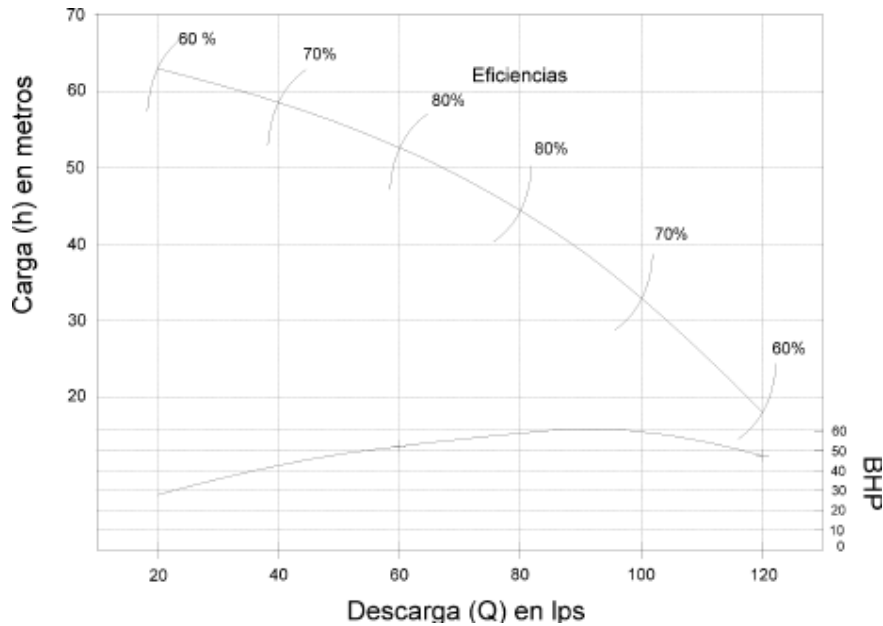


Fig. 2.22. Curvas características de una bomba

2.9.5. Motores

Los motores más comunes en los equipos de bombeo son: eléctricos (monofásicos o trifásicos) y de combustión interna (diesel, gasolina o gas). Actualmente los motores eléctricos se usan con mayor frecuencia solo en los lugares donde no se dispone de electricidad se usan motores de combustión interna. Las eficiencias asociadas a los motores eléctricos se muestran en el cuadro 2.14 y 2.15 muestra la capacidad de los motores y los fusibles necesarios según su potencia.

Caballos de Fuerza del Motor	Monofásicos		Trifásicos	
	1750 RPM	3450 RPM	1750 RPM	3450 RPM
1/4		63		
1/3		68		
1/2		69		
3/4		71		
1	71		77	76
1 1/2	71		80	77
2	71		80	79
3	75		80	80

5	75		82	81
7 1/2			83	83
10			84	84
15			85	85
20			86	86
25			87	86
30			88	87
40			88	88
50 - 60			88	
75 - 100			89	
125 - 200			90	

Cuadro 2.14. Eficiencia en motores típicos (%) 60 ciclos

Determinación de Capacidad de Fuerza en Motores	Motores de Corriente Alterna (CA)							
	Monofásico				Trifásico			
	60 ciclos				60 ciclos			
	Determinación de Amperes del motor y fusibles							
	115 V	Fusible	230 V	Fusible	220 V	Fusible	440 V	Fusible
1/4	4.8	15	2.4	15				
1/3	6.0	20	3.0	15				
1/2	7.0	25	3.5	15	2.5	15	1.3	15
3/4	9.4	30	4.7	15	2.8	15	1.4	15
1	11.0	35	5.5	20	3.3	15	1.7	15
1 1/2	15.2	45	7.6	25	4.7	15	2.4	15
2	20	60	10.0	30	6.0	20	3.0	15
3	28	90	11.5	45	9.0	25	4.5	15
5	46	150	23	70	15	40	7.5	20

7 1/2	68	225	34	110	22	60	11.0	30
10	86	300	43	125	27	70	14	35
15					38	80	19	50
20					52	110	26	70
25					64	150	32	70
30					77	175	39	80
40					101	200	51	110
50					125	250	63	125
60					149	300	75	150
75					180	400	90	200
100					246	500	123	250
125							155	350
150							180	400
200							240	500

Cuadro 2.15. Tamaño de los fusibles y los amperes aproximados de carga completa de los motores

El siguiente cuadro sirve para conocer la capacidad de corriente de los cables según el tipo de aislamiento, las figuras 2.22. sirven para seleccionar el tipo de cable AWG para diferentes capacidades de los motores.

	60° C		75° C	
Temperatura máxima del aislamiento				
TIPOS	THWN, RUW, T, TWD, MTW		RH, RHW, RUH, THW, THWN, DF, XHHW	
Calibre AWG MCM	En tubería o cable	Al aire	En tubería o cable	Al aire
14	15	20	15	20
12	20	25	20	25
10	30	40	30	40
8	40	55	45	65
6	55	80	65	95

4	70	105	85	125
2	95	140	115	170
1/0	125	195	150	230
2/0	145	225	175	265
3/0	165	260	200	310
4/0	195	300	230	360
250	215	340	255	405
300	240	375	285	445
350	260	420	310	505
400	280	455	335	545
500	320	515	380	620
600	355	575	420	690
750	400	655	475	785
1000	455	780	545	935

Cuadro 2.16. Capacidad de corriente de conductores de cobre aislados (amperes)

2.9.6. Equipos de pozo profundo.

La extracción del agua del subsuelo requiere de otro tratamiento para la selección del equipo que va a operar. Los principales factores que influyen en la selección del equipo son entre otros:

- La capacidad de conducción de agua del acuífero (conductividad hidráulica - K -): la cual determina el gasto que se puede extraer y depende del estrato o estratos del suelo que se encuentran en la excavación del pozo.

- El nivel estático (NE) y el nivel dinámico (ND) o nivel de bombeo (NB): Los cuales varían de región en región y dependen del tipo de suelo, de la recarga del acuífero y de la intensidad de bombeo que se tenga a nivel regional. El nivel estático, es la profundidad de la superficie del suelo al espejo de agua en un pozo excavado que se tiene antes de iniciar la extracción de agua con el equipo de bombeo. El nivel dinámico se define como la profundidad a la que llega el agua después de iniciada la extracción y posterior estabilización de la extracción. La diferencia entre el ND y el NE se denomina abatimiento (S).

- La prueba de aforo: La cual se utiliza para conocer la producción real del pozo excavado y se realiza regularmente con un equipo de bombeo accionado por un motor de combustión interna. La prueba consiste en medir la profundidad del nivel estático y las diferentes profundidades del nivel dinámico y gastos obtenidos al variar las revoluciones del motor. Con estos datos se forma la curva característica del aprovechamiento graficando gasto vs ND poniendo en el eje de las ordenadas la profundidad del nivel dinámico y en el de las abscisas el gasto.

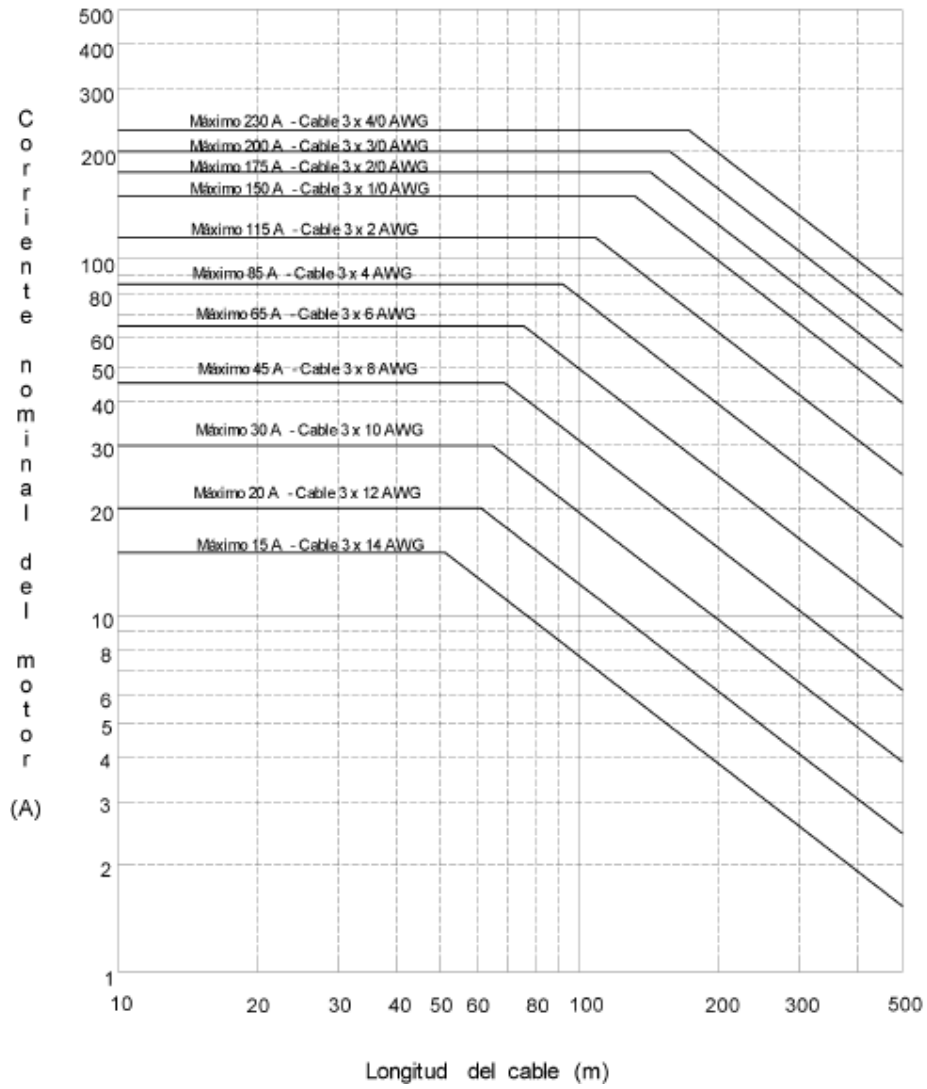


Fig. 2.22. Capacidad de conducción de los conductores para una tensión de 220 voltios, con aislamiento para temperatura de operación máxima de 75° C (Pérdida de tensión máxima de 3%)

CAPITULO III

ASPECTOS DEL COMPORTAMIENTO MECANICO EN LAS TUBERIAS

3. En este capítulo daremos a conocer todo lo referente al comportamiento mecánico de las tuberías para obtener un panorama más amplio del porque son de gran importancia considerar todos estos aspectos en un proyecto de red de agua potable utilizando tubería de pvc.

3.1. Rigidez de la tubería.

La rigidez es la propiedad inherente a los tubos de oponer resistencia a ser deflexionados. La relación siguiente es recomendada para el cálculo de la rigidez de la tubería medida a un valor del 5% de deflexión.

$$Ps = 4.47 \frac{E}{(RD-1)^3} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

Ps = Rigidez del tubo (kg/cm²)

E = Módulo de elasticidad del PVC (28,129.4 kg/cm² - 2758 MPa -)

RD = Relación de dimensiones (adim) (fórmula 3.1)

$$RD = \frac{DE_{prom}}{e_{min}}$$

DEprom = Diámetro externo promedio (mm)

e min = Espesor mínimo de pared (mm).

RD	Rigidez (Ps)	
	Kg / cm ²	PSI
64	0.503	7.2
41	1.965	27.9
32.5	4.023	57.2
26	8.047	114.4
21	15.717	223.5
13.5	64.378	915.5

Cuadro 3.1. Aplicando la fórmula anterior obtenemos la rigidez según RD de la tubería:

A lo que podemos observar según la tabla anterior es que la rigidez del tubo aumenta conforme disminuye el RD esto es que la pared del tubo es más gruesa.

Se denomina tubo flexible, aquel que permite deflexiones de más de un 3% sin que haya fractura, y tubo rígido, aquel que no permite deflexiones mayores a 0.1 % sin que haya fractura.

Las principales diferencias de las tuberías rígidas, semi-flexible y flexible se muestran a continuación:

1. Las cargas externas tienden a concentrarse directamente abajo y arriba del tubo rígido, creando un momento de aplastamiento que debe ser resistido por las paredes del tubo. En los tubos flexibles la carga es distribuida uniformemente alrededor de su circunferencia, y la carga en cualquier punto es menor que para la del tubo rígido.

2. Las cargas externas son soportadas por fuerzas de compresión en la sección transversal de la tubería. Parte de estas cargas son transmitidas lateralmente al material alrededor del tubo, del módulo de elasticidad del material del tubo y del tipo de relleno."

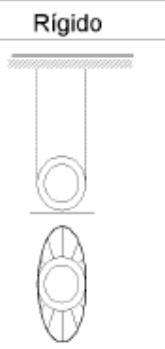
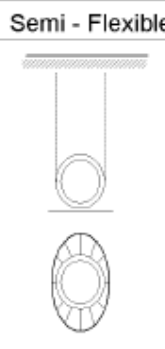
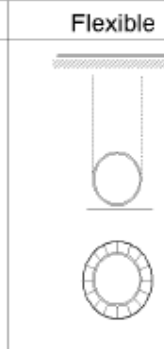
	Rígido	Semi - Flexible	Flexible
			
Determinación de la vida estructural	Resistencia del material del tubo	Cap. deform. del material del tubo + rigidez suelo	Rigidez anular del tubo + rigidez suelo
Características de la estructura	El tubo solo forma la estructura	Ambas características	El tubo + el suelo forman la estructura
Cap. de deform. (%)	≈ 0	≈ 5	> 5
Ejemplos de materiales	Concreto Barro	Acero	PEAD PP PVC
Crit. diseño del tubo	Esfuerzo	Esfuerzo / deformación	Deflexión y estabilidad

Figura 3.1. Conceptos de diseño para varios tipos de tubos enterrados

PEAD: Polietileno de alta densidad, PP: Polipropileno

3.2. Influencia del Suelo en Tubería Enterrada

Una tubería enterrada recibe fuerzas laterales y verticales del suelo que la rodea, así como del que está por encima del tubo. El grado en que se compacta el relleno en la zanja afecta de manera relevante al comportamiento del tubo en el suelo. Cuando se instala una tubería lo ideal sería alcanzar los valores de Peso Volumétrico Seco (γ_s) (Proctor) más altos por medio de la compactación, de tal forma que fuesen lo más semejantes posibles a los originales del suelo sin alterar; así se evitarían futuros reajustes que afectasen la tubería. Sin embargo los resultados de la práctica en muchas ocasiones distan mucho de llegar a ser los valores requeridos por el tubo.

Uno de los principales parámetros para conocer el comportamiento del tubo ante dichas fuerzas es la rigidez; un tubo rígido (como concreto) tenderá a soportar las cargas del suelo, mientras un tubo flexible tenderá a deformarse ante dichas cargas cambiando su forma original circular a una forma elíptica. Las normas estadounidenses recomiendan que la máxima deflexión permisible en la tubería sea de 7.5 % , esto no quiere decir que el tubo falle al 7.5 % de deflexión sino que es un valor tomado para evitar una disminución significativa de la capacidad de conducción de la tubería . Debido a que el tubo flexible reacciona de acuerdo a los movimientos relativos del suelo se puede decir que se forma un sistema suelo-tubo. La siguiente figura ilustra la manera en que actúa el suelo en tuberías flexibles y en tuberías rígidas.

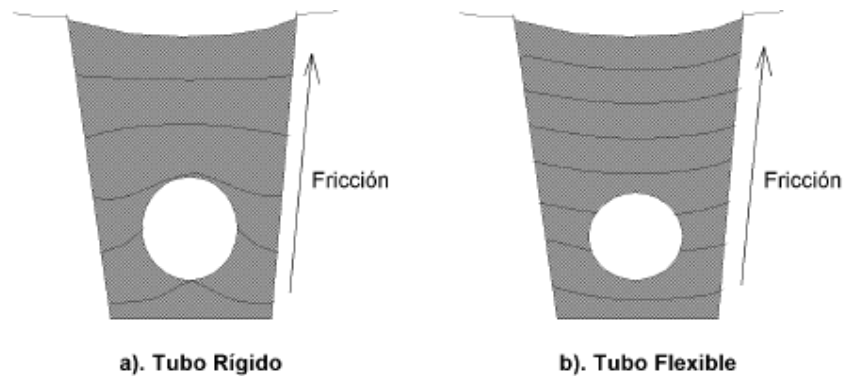


Figura 3.2. Acción del suelo sobre el tubo

3.3. Influencia del Tráfico Vehicular en la Tubería Enterrada

Además de las fuerzas que recibe la tubería del suelo, existen otras fuerzas debidas al tráfico. La influencia del tráfico es más notoria cuando la tubería está enterrada a profundidades cercanas a la superficie del suelo, conforme aumenta la profundidad la influencia disminuye. La fuerza ejercida por el tráfico depende del tipo de vehículo.

3.3.1. Cargas máximas permisibles en México para los vehículos.

Existe una clasificación de vehículos de acuerdo a la carga para facilitar los cálculos; así se tiene vehículos tipo A donde se involucran todos los automóviles, las camionetas tipo pick-up y los que tengan un peso menor a 3 ton, los tipo B en el que quedan incluidos todos los autobuses y los tipo C, que son los camiones de carga con más de 3 ton y los cuales se desglosan en grupos por existir una gran variedad de características, su peso puede variar desde 3 ton hasta 60 ton con diferentes combinaciones en la posición de ejes y llantas. El siguiente cuadro muestra la clasificación de vehículos en México de acuerdo a la carga máxima permisible:

Tipo de vehículo	Peso total (ton)	Peso de ejes cargados (ton)				
		Tractor		Semi-remolque	Remolque	
		Delan-tero	Trase-ro	que	Delan-tero	Trase-ro
Auto móvil						
A2	2	1.0 (s)	1.0 (s)			
Auto bús						
B2	15.2	5.5 (s)	10.0 (s)			
B3	20.0	5.5 (s)	14.5 (s)			
B4	27.0	9.0 (t)	18.0 (t)			
Camiones						
A '2	5.5	1.7 (s)	3.8 (s)			

C2	15.5	5.5 (s)	10.0 (s)			
C3	23.5	5.5 (s)	18.0 (t)			
C4	28.0	5.5 (s)	22.5 (tr)			
T2-S1	25.5	5.5 (s)	10.0 (s)	10.0 (s)		
T2-S2	32.5	5.5 (s)	10.0 (s)	18.0 (t)		
T3-S2	41.5	5.5 (s)	18.0 (t)	18.0 (t)		
C2-R2	35.5	5.5 (s)	10.0 (s)		10.0 (s)	
C3-R2	43.5	5.5 (s)	18.0 (t)		10.0 (s)	
C3-R3	51.5	5.5 (s)	18.0 (t)		10.0 (s)	18.0 (t)
T2-S1- R2	45.5	5.5 (s)	10.0 (s)	10.0 (s)	10.0 (s)	
T3-S3	50.5	5.5 (s)	18.0 (t)	22.5 (tr)		
T2-S2- R2	53.5	5.5 (s)	10.0 (s)	18.0 (t)	10.0 (s)	
T3-S1- R2	53.5	5.5 (s)	18.0 (t)	10.0 (s)	10.0 (s)	
T3-S2- R2	61.5	5.5 (s)	18.0 (t)	18.0 (t)	10.0 (s)	
T3-S2- R3	69.5	5.5 (s)	18.0 (t)	18.0 (t)	10.0 (s)	18.0 (t)

T3-S2-	77.5	5.5 (s)	18.0	18.0	18.0	18.0
R4			(t)	(t)	(t)	(t)

Cuadro 3.2. Pesos de diferentes vehículos automotores

(s) = eje sencillo; (t) = eje tándem; (tr) = eje triple;

C = Camión con un chasis; T = Tractor (unidad solo motor); S= Caja o semirremolque jalado directamente por el tractor; R = Remolque; caja jalada por el semirremolque.

En México, las cargas máximas legales por eje son:

5.5 ton por eje sencillo rueda sencilla,

10.5 ton para eje sencillo rueda doble,

18.0 ton para eje tándem (doble) rueda doble,

27.0 ton para eje triple rueda doble.

3.4. Fórmulas para el Cálculo de Deflexión

Se han desarrollado variadas relaciones para calcular la deflexión de las tuberías debido a las cargas que soportan, ya sean las que recibe del suelo llamadas comúnmente cargas muertas, o aquellas que recibe del tráfico vehicular denominadas cargas vivas. En este capítulo se describirán las fórmulas mas usuales.

La mayoría de las fórmulas se basan en esta expresión general:

$$\text{Deflexión} = \frac{\text{Cargas Externas}}{\text{Rigidez del suelo} + \text{Rigidez del tubo}}$$

3.4.1 Teoría de Deflexión de Spangler

Una de las relaciones de mayor uso para el cálculo de deflexión es la de Spangler llamada comúnmente "Fórmula Iowa", la cual además de relacionar las características del suelo y de la tubería considera un factor de deflexión a largo plazo, esto es la deflexión alcanzada en el momento que el suelo finaliza de asentarse en la zanja y la tubería deja de deflexionarse. La fórmula es la siguiente:

$$\frac{\Delta y}{D} \% = 100 \frac{D_i K W_c + K W_{sc}}{\frac{2 E}{3 (RD - 1)^3} + 0.061 E'} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

$\Delta y/D$ = Deflexión del tubo en base al diámetro original

W_c = Cargas muertas (MN/m² ó kg/cm²)

W_{sc} = Cargas vivas (MN/m² ó kg/cm²)

E = Módulo de elasticidad del tubo (2,759 MN/m² ó 28,129.4 kg/cm²)

E' = Módulo de reacción del suelo (MN/m² ó kg/cm²)

DI = Factor de deflexión a largo plazo (adim, Spangler recomienda un $DI = 1.5$)

RD = Relación de dimensiones (adim) ver fórmula

Las cargas muertas se calculan con la siguiente relación, desarrollada por Martson:

$$H/Bd \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde:

γ = Densidad del relleno (MN/m³ ó kg/cm³)

Bd = Ancho de la zanja (m ó cm)

Cd = Coeficiente de carga para conductos instalados en zanjas (adim)

y se obtiene con la siguiente expresión:

$$Cd = \frac{1 - e^{-2 k \mu' \frac{H}{Bd}}}{2 k \mu'} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde:

H = Profundidad de relleno (m)

$k\mu'$ = Factor determinado por la relación de la presión horizontal y vertical (k) y la fricción de la pared de la zanja (adim)

e = Base de los logaritmos naturales (2.71828)

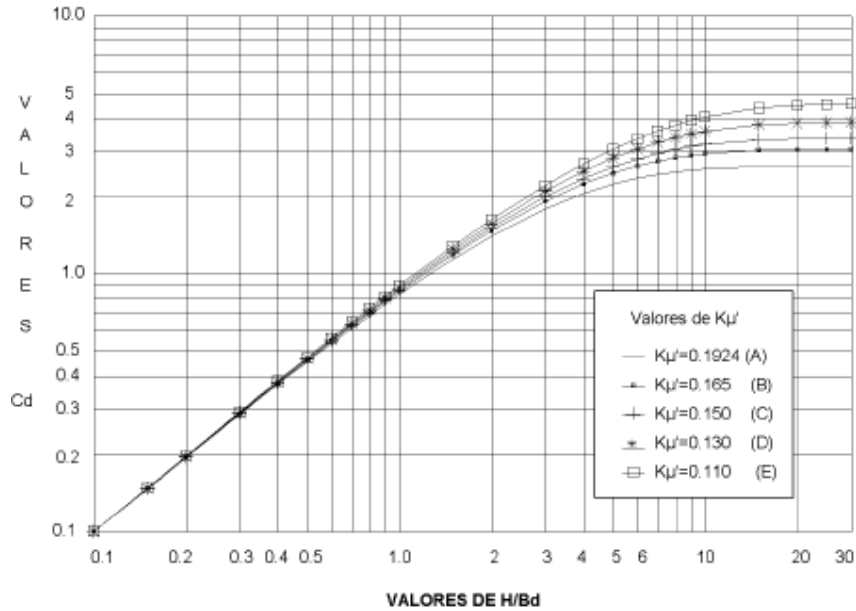


Figura 3.3. Valores del Coeficiente Cd para usarse

(A) Para materiales granulares sin cohesión; (B) Máximo para arena y grava; (C) Máximo para suelos saturados;

(D) Máximo para arcillas; (E) Máximo para arcillas saturadas.

La presión del suelo debido al tráfico se determina con la siguiente relación:

$$W_{sc} = C_s \frac{P F'}{L DE} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

P = Carga concentrada de la rueda (0.70 MN ó 7,135.6 kg)

L = Longitud efectiva (0.9 m ó 90 cm)

DE = Diámetro externo de la tubería (m ó cm)

F' = Factor de impacto (adim)

Profundidad de Enterramiento (m)	Carreteras	Vías FF.CC.	Pistas de Aterrizaje
0.0 a 0.3	1.50	1.75	1.00
0.3 a 0.6	1.35	-	1.00

0.6 a 0.9	1.15	-	1.00
Mayor a 0.9	1.00	-	1.00

Cuadro 3.3. Factor de impacto vs Profundidad de relleno

Nota: Para propósitos prácticos se puede tomar un valor de 1.5 excepto en cruces de vías de FF. CC.

Cs = Coeficiente de carga de ruedas (adim)

$$Cs = 1 - \frac{2}{\pi} \left(\sin^{-1} \left(H \sqrt{\frac{F}{(A^2 + H^2)(B^2 + H^2)}} \right) - \frac{ABH}{\sqrt{F}} \left(\frac{1}{(A^2 + H^2)} + \frac{1}{(B^2 + H^2)} \right) \right) \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde:

$$A = L / 2 \quad B = DE / 2 \quad F = A^2 + B^2 + H^2$$

L = Longitud efectiva (m)

H = Profundidad de relleno (m)

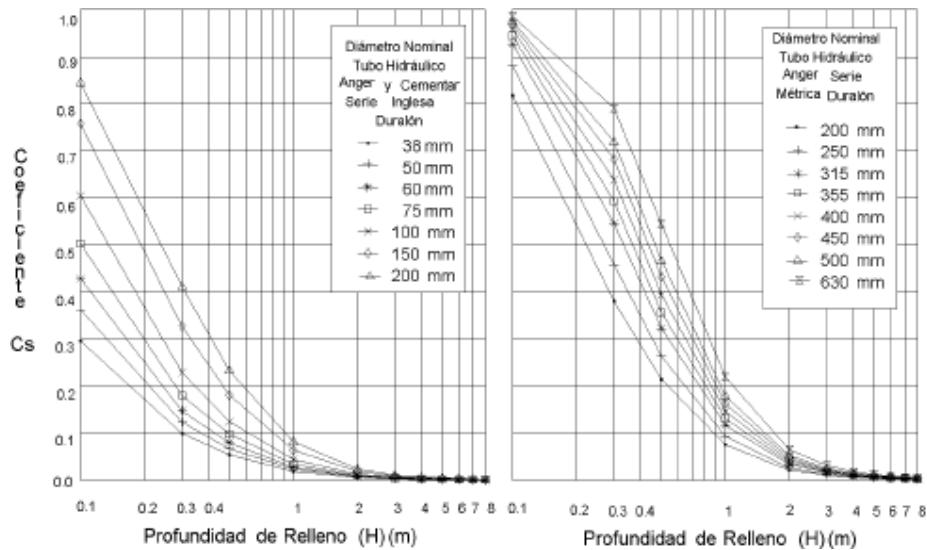


Figura 3.4. Valor del Coeficiente Cs para usarse en la fórmula (3.5)

3.4.2. Clasificación de suelos.

La clasificación de suelos más usada desde el punto de vista de mecánica de suelos es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) el cual asigna un símbolo para cada uno de los tipos de suelo, ya sean orgánicos o inorgánicos. Sus principales parámetros de clasificación son: el Límite Líquido (LL), el Límite Plástico (LP) y el tamaño de partículas (granulometría). Los cuales describen el comportamiento mecánico del suelo. Las normas ASTM D-2487 y D-2488 muestran la clasificación de suelos y el método visual-manual de clasificación respectivamente. La clasificación SUCS se muestra a continuación. Además muestra la clasificación de la Unibell Plastics Pipe Association en grupos de relleno.

Símbolos del Grupo		Clasif.	
Usual en México	Usual en EE.UU.	Unibell	<i>Nombres típicos</i>
-	-	Clase I	<i>Material granular, angular manufacturado, de 1/4 a 1 1/2" (6 a 40 mm), incluyendo materiales representativos de la región como roca triturada, coral picado, conchas trituradas,</i>
Gp	GW	Clase	<i>Gravas bien graduadas; mezclas de grava y arena; pocos o ningún finos.</i>
Gm	GP	II	<i>Gravas mal graduadas; mezclas de grava y arena; pocos o ningún finos.</i>
GL	GM	Clase	<i>Gravas limosas; mezclas de grava y limo mal graduadas.</i>
GB	GC	III	<i>Gravas arcillosas; mezclas de grava, arena y arcilla mal graduadas.</i>
Ab	SW	Clase	<i>Arenas bien graduadas; arenas</i>

			<i>gravosas; pocos o ningún finos.</i>
Am	SP	II	<i>Arenas mal graduadas; arenas gravosas; pocos o ningún finos.</i>
AL	SM	Clase	<i>Arenas limosas; mezclas de arena y limo mal graduados.</i>
AB	SC	III	<i>Arenas arcillosas; mezclas de arena y arcilla mal graduadas.</i>
Lp	ML	Clase	<i>Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca; arenas finas limosas o arcillas ligeramente plásticas</i>
Bp	CL	IV	<i>Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media; arcillas gravosas; arcillas arenosas; arcillas limosas; arcillas pobres.</i>
Op	OL	Clase V	<i>Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.</i>
Lc	MH	Clase	<i>Limos inorgánicos; suelos micáceos o diatomáceos arenosos finos o limosos, limos elásticos.</i>
Bc	CH	IV	<i>Arcillas inorgánicas de alta plasticidad; arcillas francas muy comprensibles.</i>
Oc	OH	Clase	<i>Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta muy comprensibles.</i>
T	PT	V	<i>Turba y otros suelos altamente orgánicos en estado descomposición.</i>

Cuadro 3.4. Principales tipos de suelos (SUCS)

La Unibell Plastic Pipe Association hace una agrupación de los tipos de suelos los cuales son mencionados en el cuadro con fines de usarlos de relleno en las zanjas, los subdivide en cinco clases tomando en cuenta sus propiedades mecánicas.

3.4.3. Módulo de reacción del suelo (E')

Muchas investigaciones han tratado de medir los valores de E' sin éxito. El método más usual es medir las deflexiones en el tubo teniendo todas las demás variables conocidas resolviendo, en forma inversa, la fórmula Iowa para determinar el valor correcto de E'.

Amster K. Howard compiló valores de E' usando información de más de 100 laboratorios y pruebas de campo para varios tipos y densidades de suelo, dichos valores se muestran en el cuadro 3.5.

	<i>E' según el grado de compactación del encamado</i>			
TIPO DE SUELO PARA ENCAMADO DE TUBERIAS (SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS - SUCS-) (1)	A VOLTEO (2)	LIGERO Proctor <85% Densidad relativa <40% (3)	MODE-RADO, Proctor 85% - 95 % Densidad relativa (4)	ALTO, Proctor >95% Densidad relativa >70% (5)
Suelos bien graduados (LL>50)b Suelos con media a		Use E' =0		

alta plasticidad, CH, MH, CH-MH				
Suelos bien graduados (LL<50), Suelos con media a nula plasticidad CL, ML, ML-CL, con menos de 25 % de partículas gruesas.	3.52 kg/cm2 50 PSI 0.35 MN/m2	14.06 kg/cm2 200 PSI 1.38 MN/m2	28.13 kg/cm2 400 PSI 2.76 MN/m2	70.32 kg/cm2 <i>1000</i> <i>PSI</i> <i>6.90</i> <i>MN/m2</i>
Suelos bien graduados LL<50), Suelos con media a nula plasticidad CL, ML, ML-CL, con más del 25 % de partículas gruesas, Suelos de partículas gruesas con finos GM, GC, SM, SCc conteniendo más del 12 % de finos	7.03 kg/cm2 100 PSI 0.69 MN/m2	28.13 kg/cm2 400 PSI 2.76 MN/m2	70.32 kg/cm2 1000 PSI 6.90 MN/m2	140.65 <i>kg/cm2</i> <i>2000</i> <i>PSI</i> <i>13.80</i> <i>MN/m2</i>
Suelos de partículas gruesas con pocos o sin finos GW, GP, SW, SPc conteniendo menos del 12% de finos	14.06 kg/cm2 200 PSI 1.38 MN/m2	70.32 kg/cm2 1000 PSI 6.90 MN/m2	140.65 kg/cm2 2000 PSI 13.80 MN/m2	210.97 <i>kg/cm2</i> <i>3000</i> <i>PSI</i> <i>20.70</i> <i>MN/m2</i>

Roca triturada	70.32	210.97	210.97	210.97
	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2
	1000	3000	3000	3000
	PSI	PSI	PSI	PSI
	6.9	20.70	20.70	20.70
	MN/m2	MN/m2	MN/m2	MN/m2
<i>Precisión en términos de porcentaje de deflexión</i>	± 2	± 2	± 1	± 0.5

Cuadro 3.5. Valores promedio del módulo de reacción del suelo (E') (Para la Deflexión inicial en tubos flexibles)

- a Norma ASTM D-2487
- b LL = Límite líquido
- c O cualquier suelo en el límite que comience con esos símbolos (peje. GM-GC, GC-SC)
- d Para $\pm 1\%$ de precisión y una deflexión predecida de 3%, la deflexión real estaría entre 2% y 4%

Nota: Estos valores son aplicables sólo para rellenos con profundidades menores de 15 m. La tabla no incluye ningún factor de seguridad. Para uso solo en predicciones iniciales de deflexión, puede ser aplicado un factor de largo plazo (F') apropiado para deflexiones a largo plazo. Si el encamado cae entre dos categorías de compactación, seleccione el menor valor de E' o el promedio de los dos valores. El porcentaje Proctor basado en la máxima densidad en seco (peso volumétrico seco) de las normas de prueba usando aproximadamente 598,000 J/ m³ (12,500 Pie Lb/ Pie³) (ASTM D-698) (6.1 kg cm / cm³)

El cuadro presenta una guía aproximada para estimar el grado de compactación alcanzado según el método utilizado y el cuadro el módulo de reacción del suelo E' según la clase de suelo y la compactación Proctor dada.

CLASE DE RELLENO	I	II	III	IV
DESCRIPCION DEL MATERIAL	Material granular manufacturado	Suelos de arena y	Suelos mezclados granulo	Suelos de granos finos

		grava limpios	sos	
Contenido óptimo de humedad en % de suelo seco		9-12	9-18	6-30
Método de compactación del suelo	Rango en % Proctor o Densidad Relativa (valores entre paréntesis)			
Compactado con apizonador mecánico	95-100 (75-100)	95-100 (80- 100)	95-100	90-100
Compactado con vibrocompactador portátil	80-95 (60-75)	80-95 (60-80)	80-95	75-90
Con pizón manual		60-80 (50-60)	60-80	60-75
A volteo	60-80 (40-60)	60-80 (50-60)	60-80	60-75

Cuadro 3.6. Guía aproximada para estimar el rango del grado de compactación vs la clase y el método de relleno como porcentaje

* La densidad relativa está anotada entre paréntesis.

** Esta tabla sirve como una guía aproximada para definir promedios de compactaciones Proctor conseguidos a través de varios métodos de compactación de suelo en diferentes clases de suelo. La tabla tiene la intención de proveer una guía y no se recomienda para su uso en diseño. Los valores reales de diseño deberán ser calculados por el ingeniero para suelos específicos y con contenidos de humedad específicos.

Clase de relleno (Clasificación	Rango de Densidad Proctor	Módulo de reacción del Suelo (kg/cm ² , PSI y

UNIBELL)	%	MN/m2)
I	-	210.97 - 3,000 - 20.70
II	85-95 75-85 65-75	140.65 - 2,000 - 13.80 70.32 - 1,000 - 6.90 14.06 - 200 - 1.38
III	85-95 75-85 65-75	70.32 - 1,000 - 6.90 28.13 - 400 - 2.76 7.03 - 100 - 0.69
IV	85-95 75-85 65-75	28.13 - 400 - 2.76 14.06 - 200 - 1.38 3.52 - 50 - 0.69
V	CLASE DE SUELO NO RECOMENDADA	

Cuadro 3.7. Porcentaje Proctor y Módulo de reacción del suelo (E') para las diferentes clases de suelo

3.5. Deflexión Longitudinal

La respuesta de la tubería de PVC a la deflexión longitudinal se considera una ventaja significativa sobre tuberías de otros materiales. La deflexión longitudinal puede ser provocada deliberadamente en instalaciones donde existan cambios de dirección horizontales o verticales, obstrucciones varias o como una forma de adaptar la línea a las condiciones topográficas.

Gracias a la deflexión longitudinal, la tubería de PVC tiene la cualidad de curvarse y moverse por efecto de cargas externas concentradas.

3.5.1. Deflexión Permisible

Cuando se está instalando la tubería de PVC, algún cambio de dirección puede ser necesario sin que sea imperativo el uso de codos u otro tipo de conexiones.

Controlada la deflexión longitudinal dentro de límites aceptables, puede ser perfectamente aplicada a la tubería. La deflexión longitudinal de un tubo, está definida como una combinación de "Deflexión en la Campana" y "Flexión Axial".

La "Deflexión en la Campana" permisible puede ser significativa cuando las campanas están diseñadas para este propósito. Dependiendo del diámetro del tubo y el diseño de la campana.

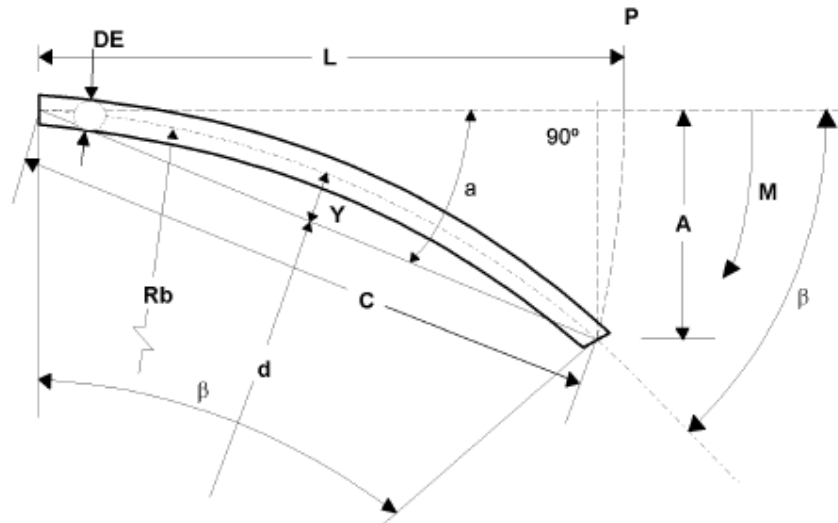


Fig. 3.5. Deflexión Longitudinal

3.5.2. Esfuerzo Flexionante Permitido

Se define mediante la siguiente ecuación:

$$S_s = (HDB - S_t) \frac{T}{F} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde:

\$S_b\$ = Esfuerzo flexionante permitido a 23 °C (140.6 kg/cm²)

HDB = Presión hidrostática de diseño, (kg/cm²), para PVC 280 kg/cm²

\$S_t\$ = HDB/2 = Esfuerzo a la tensión longitudinal, (kg/cm²), para tubos sin presión es igual a cero

\$T\$ = Factor de temperatura,

\$F\$ = Factor de seguridad, 2.0 para tubo según su presión de trabajo (RD's y Clases) y 2.0 para tubo sin presión.

3.5.3. Momento Flexionante

La relación matemática entre el esfuerzo inducido al tubo por la deflexión longitudinal, es:

$$M = \frac{S_{\delta} I}{c} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Donde:

M = Momento flexionante (Kg·cm)

c = DE/2 = Distancia entre la parte externa del tubo y el eje neutral (cm)

I = 0.049087 (DE⁴ - DI⁴) = Momento de Inercia (cm³)

DEprom = Diámetro Externo promedio del tubo (cm)

DIprom = DE - 2e = Diámetro Interno promedio del tubo (cm)

eprom = Espesor de pared promedio (cm)

3.5.4. Radio Mínimo de Curvatura

Usando la ecuación de Timoshenko:

$$R_{\delta} = \frac{E}{M} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Sustituyendo 3.8 en 3.9 tenemos:

$$R_{\delta} = \frac{E \cdot DE}{2S_{\delta}} \quad \text{Ecuación 3.10}$$

Siendo:

E = Módulo de elasticidad del material, (28,129.4 kg/cm²)

3.5.5. Ángulo Central

Está sustentado por la longitud del tubo, dado como:

$$\beta = \frac{360 L}{2 \pi \cdot R_{\delta}} = \frac{57.30 L}{R_{\delta}} \quad \text{Ecuación 3.11}$$

3.5.6. Ángulo de Deflexión Lateral

Es el ángulo que se forma del tubo curvado con respecto a la tangente del círculo, queda definido como:

$$\alpha = \beta/2 \quad \text{Ecuación 3.12}$$

3.5.7. Desplazamiento del Tubo (A)

El desplazamiento del final del tubo respecto a la tangente del círculo es:

$$A = 2R_b (\text{sen}^2 \beta/2) = 2R_b (\text{sen}^2 \alpha) \quad \text{Ecuación 3.13}$$

3.5.8. Fuerza de Desplazamiento

La fuerza que se requiere aplicar en el extremo libre del tubo, suponiendo que el otro extremo está fijo al estar haciendo la instalación, para alcanzar el desplazamiento (A) es determinada como:

$$P = \frac{3EIA}{L^3} \quad \text{Ecuación 3.14}$$

Donde:

P = Fuerza lateral de desplazamiento, (kg)

Las demás variables definidas anteriormente.

Otros Parámetros de la figura 3.5.

Longitud

$$L = \frac{R_b \pi}{90} \alpha \quad \text{Ecuación 3.15}$$

$$d = R_b \cos \beta/2 \quad \text{Ecuación 3.16}$$

Flecha

$$Y = R_b - d \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Cuerda

$$C = 2R_b \sin \beta/2 \approx L \quad \text{Ecuación 3.18}$$

CAPITULO IV

CLASIFICACION DE LA TUBERÍA DE PVC Y EJEMPLO DE UN PROYECTO GENERAL DE LINEAS DE AGUA POTABLE

La tubería de PVC hidráulica se puede clasificar según el Sistema de dimensionamiento, la presión de trabajo y el tipo de unión que usa.

4.1. Clasificación por sistema de dimensionamiento.

La base de esta clasificación son el tipo de sistema que se usa, ya sea Serie Inglesa o Serie Métrica.

4.1.1. Serie Inglesa (SI).

Se basa en tuberías cuyas especificaciones originales son de EE.UU. normalmente de la American Society for Testing and Materials (ASTM - Asociación Americana para Pruebas y Materiales-). Una característica importante es que el diámetro nominal (DN) no corresponde al diámetro externo (DE) ni al diámetro interno (DI). Mantiene constante el DE para los diferentes espesores de pared (e), por lo que el diseño del tubo se basa en esta característica. Este tipo de tubería de PVC fue de las primeras en comercializarse en México. Se mide en pulgadas expresadas en milímetros.

4.1.2. Serie Métrica (SM).

Las especificaciones originales para este tipo de tubería proceden de la International Standards Organization (ISO - Organización Internacional de Normas-). En este caso el DN corresponde al DE. Al igual que la tubería de Serie Inglesa mantiene constante el DE a diferentes espesores de pared. Se mide en milímetros.

NOTA: Los diámetros de los dos tipos de tuberías no coinciden dimensionalmente por lo que no se pueden hacer uniones directamente, sino mediante el uso de una transición.

4.1.3. Clasificación por Clases, RD's y Cédula.

Una segunda clasificación muy usada depende de la presión recomendable de trabajo (PT) y según el sistema de dimensionamiento se pueden clasificar en Clases, para la Serie Métrica, RD's y Cédulas para la Serie Inglesa.

4.1.4. Relación de Dimensiones (RD).

El RD se define como el cociente de dividir el diámetro externo promedio entre el espesor mínimo de pared. La siguiente figura ejemplifica dicha relación.



Fig. 4.1. Relación de dimensiones (RD)

El siguiente cuadro presenta los RD's más comerciales con las respectivas presiones recomendables de trabajo.

RD	PT (kg/cm ²)
13.5	22.4
21	14.0
26	11.2
32.5	8.9
41	7.0

Cuadro 4.1. RD's comerciales y su presión recomendable de trabajo

4.1.5. Clases

Para la Serie Métrica la clasificación se hace por clases; la clase corresponde a la presión recomendable de trabajo de la tubería, de este modo una tubería Clase 10 soporta una presión recomendable de 10 kg/cm², una clase 7, a 7 kg/cm², etc. El diseño de la tubería también se basa en la relación que existe entre el espesor de pared y el diámetro externo del tubo. Dándole un espesor de pared necesario al tubo respecto a su diámetro dependiendo de la presión que va a soportar. El cuadro 4.2. muestra las clases de tubería comerciales en México con su respectiva presión recomendable de trabajo.

Clase	PT (kg/cm ²)
5	5.0
7	7.0
10	10.0
14	14.0

Cuadro 4.2. Clases comerciales y su presión recomendable de trabajo

4.1.6. Cédulas.

La tubería clasificada por cédulas cumple con las dimensiones de la tubería de hierro galvanizado (FoGo). La presión recomendable de trabajo es variable, dependiendo del diámetro, ya que depende de la relación entre el diámetro y el espesor.

Las cédulas existentes son: Cédula 40, Cédula 80 y Cédula 120

Diámetro Nominal (mm)	PT (kg/cm ²)
13	42.2
25	33.8
32	31.7
38	26.0
50	23.2
60	19.7
75	18.3
100	15.5

Cuadro 4.3. Presión recomendable de trabajo para Tubería Cédula 40

4.1.7. Clases (C 900).

La tubería C 900, con medidas inglesas, se clasifican por clases:

Clase	PT (kg/cm ²)
100	7.0
150	10.5

Cuadro 4.4. Presión recomendable de trabajo para tubería C 900

4.2. Clasificación por tipos de unión

Esta clasificación esta basada en los tipos de unión mayormente usados en tubería de PVC para agua potable, a continuación se describen brevemente:

- Unión Anger : Esta unión también es conocida como unión espiga - campana. Los tubos por un lado tienen una campana conformada con un nicho donde se aloja un anillo empaque de material elastomérico el cual hace el sello hermético; por el otro lado tiene la espiga. La unión se muestra en la siguiente figura.

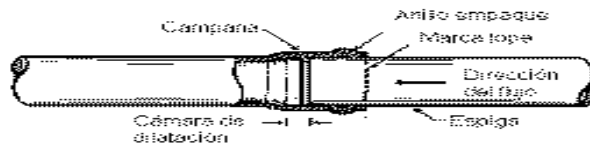


fig. 4.2. Unión Anger utilizada en la tubería mostrando las partes que la conforman

- La unión Anger es la mas utilizada en las tuberías de PVC, ya que ofrece variadas ventajas entre las que se encuentran:
 - Facilidad de instalación: Ya que para hacer la unión solamente se requiere de la utilización de un lubricante.
 - Unión flexible.- Permite movimiento relativos entre la espiga y la campana por lo que absorbe asentamientos sufridos en el suelo. Esta ventaja puede utilizarse cuando se tienen cambios de dirección con radios de curvatura muy grandes. (Aspectos de instalación se ven en el capítulo correspondiente)
 - Cámara de dilatación.- Absorbe la dilatación de la tubería debido a las variaciones de temperatura.
 - Anillo empaque.- Permite tener hermeticidad en la línea.
 - Unión Cementar : Esta unión se compone de espiga - casquillo (socket). Es una unión monolítica de la tubería con otras tuberías (abocinadas) y/o con conexiones usando una sustancia cementante, cuya reacción química con el PVC provoca que las dos piezas cementadas se "solden" entre sí.

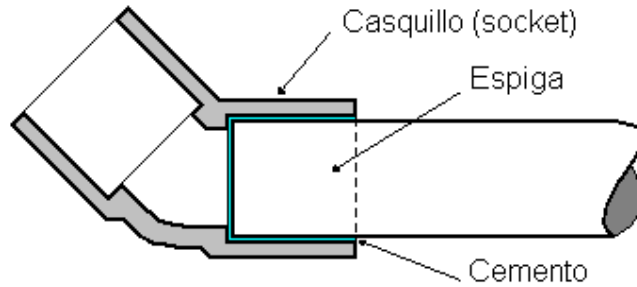


Fig. 4.3. Unión Cementar en un Codo de 45° Cédula 40

Unión Bridada : Es utilizada principalmente para hacer uniones con piezas de fierro fundido (FoFo), válvulas de compuerta, medidores de flujo y bombas de agua. Consiste de piezas unidas a bridas de PVC con dimensiones estándares.

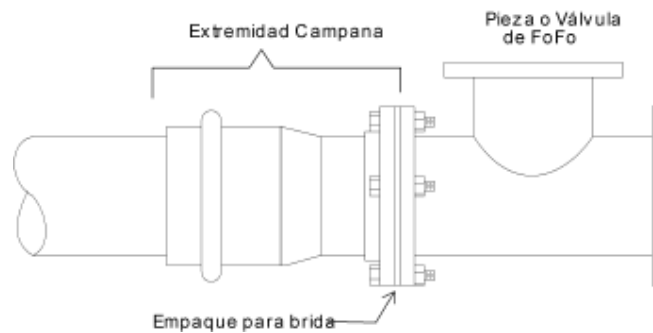


Fig. 4.4. Unión Bridada de tubería de PVC

- Unión Roscada : Utilizada para unir PVC con FoGo, válvulas roscadas, válvulas de aire, liberadoras de presión, etc. Las roscas son del tipo NPT (Taper Pipe Thread). Regularmente a la tubería se le cementa un adaptador macho o hembra roscado (los tubos cédula 40, 80 y 120 pueden ser roscados con "tarraja" de igual manera que los tubos de FoGo, sobre todo los diámetros pequeños).



Fig. 4.5. Adaptador macho mostrando la rosca NPT

- Otras Uniones : Para tuberías de PVC cuyo diámetro vaya desde 355 mm (14") hasta 630 mm (24"), las uniones con piezas de FoFo se hacen mediante juntas mecánicas también de FoFo. La siguiente figura muestra la unión con junta mecánica (Aspectos de instalación verlos en el capítulo correspondiente).

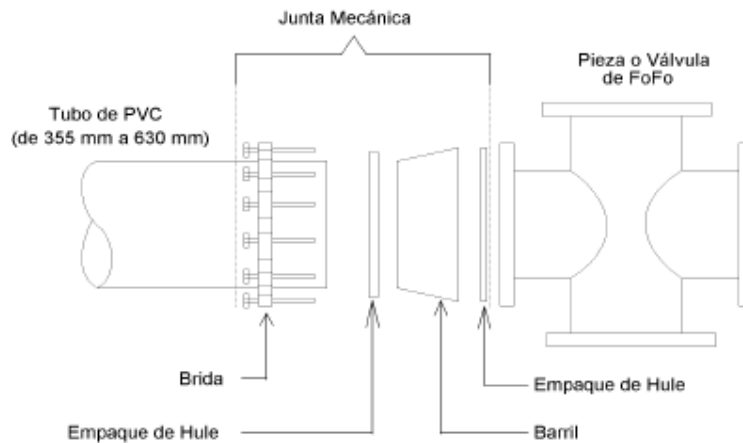


Fig. 4.6. Unión de Tubería de PVC a piezas de FoFo usando

Junta Mecánica

4.3. ELABORACIÓN DE PROYECTOS

4.3.1. Consideraciones básicas de diseño.

El diseño de cualquier sistema de agua potable, deberá realizarse para las condiciones de población, dotación y período de diseño. Además, en el dimensionamiento del sistema se deberá analizar la conveniencia de programar y realizar las obras por etapas; en especial en el caso de instalaciones para bombeo y potabilización cuando éstos se requieran Diseñar los diámetros adecuados de las tuberías a efecto de demostrar el equilibrio hidráulico en cada sector. Se deberá de contemplar la sectorización de la red de distribución en sectores hidrométricos. Más adelante se enfatizara más acerca de los datos básicos de diseño.

4.4. Consideraciones Generales de Diseño.

- Cualquier tipo y clase de tubería a proyectar, deberá cumplir con las normas oficiales mexicanas (NOM) vigentes.
- La tubería debe seguir, en lo posible, el perfil del terreno y su localización se escoge para que sea la más favorable, con respecto al costo de construcción y las presiones resultantes. Nunca debe quedar completamente horizontal. Se debe tener especial atención en la línea de gradiente hidráulico, ya que mientras más cercana esté la conducción a esta línea, la presión en los tubos es menor; esta condición puede traer como consecuencia un ahorro en el costo de la tubería.

- Como en casi la totalidad de las obras de conducción, las tuberías se instalan en zanja; durante el trazo topográfico debe procurarse disminuir al máximo posible, la excavación en roca.
- Cuando la topografía es accidentada se localizan válvulas de admisión y expulsión de aire en los sitios más elevados del perfil, mientras que, cuando la topografía sea más ó menos plana se ubican en puntos situados cada 1.5 Km. como máximo, y en los puntos más altos del perfil de la línea.
- En tramos con pendiente fuerte, ascendente ó descendente, se debe analizar la conveniencia de instalar válvulas de admisión y/o expulsión de aire en puntos intermedios.
- Por otra parte, los desagües se utilizan generalmente en los puntos más bajos del perfil, con el fin de vaciar la línea en caso de roturas durante su operación. También se utilizan para el lavado de la línea durante su construcción.
- En los puntos más altos del perfil se deben colocar válvulas eliminadoras de aire.
- Generalmente, en conducciones a presión, las estructuras de protección más importantes son las cajas rompedoras de presión. En conducciones muy largas es recomendable y en ocasiones obligado, utilizar estas estructuras con la finalidad de mejorar el funcionamiento hidráulico de la conducción. (La función de una caja rompedora de presión es la de permitir que el caudal descargue en la atmósfera reduciendo su presión hidrostática a cero y estableciendo un nuevo nivel estático. Generalmente, las cajas rompedoras de presión se pueden construir de mampostería de cemento (con / sin válvulas de flotador).

4.5. Descripción general de los elementos de un sistema de Agua Potable

Los sistemas de agua potable se componen principalmente de los siguientes elementos:

• Fuente.

Las fuentes de abastecimiento que encontramos en la naturaleza se pueden clasificar en:

- Agua superficial. Incluyen ríos, lagos y acuíferos superficiales que no estén confinados.

- Agua subterránea. Están confinadas y por esto mejor protegidas de la contaminación que las fuentes superficiales.

- Agua atmosférica y saladas. Se recurre a estas aguas muy rara vez y solamente cuando no existe posibilidad, ya sea por escasas o de muy mala calidad, de aprovechar las aguas subterráneas y superficiales.

SUPERFICIALES		SUBTERRANEAS	
VENTAJAS	DESVENTAJAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Disponibilidad	Fácilmente contaminadas	Protección	Alto sulfuro de hidrógeno
Visibles	Calidad variable	Bajo color	Alta dureza
Limpiable	Alto color	Baja turbiedad	Relativa inaccesibilidad
Bajo fierro y manganeso	Alta turbiedad	Calidad constante	No limpiables
Bajo sulfuro de hidrógeno	Olor y color biológico	Baja corrosividad	
Baja dureza	Alta materia orgánica	Bajo contenido de materia orgánica	
Baja dureza	Alta formación potencial de trihalometanos	Baja formación potencial de trihalometanos	

CUADRO 4.5 Ventajas y desventajas de las fuentes de abastecimiento de agua potable superficiales y subterráneas

• **Captación**

Conjunto de obras civiles y equipos electromecánicos que se utilizan para reunir adecuadamente agua aprovechables.

• **Conducción**

Parte del sistema constituido por un conjunto de conductos, obras de arte y accesorios destinados a transportar el agua procedente de la fuente de abastecimiento, desde el lugar de la captación hasta un punto que puede ser tanque de regulación, a un cárcamo para una segunda conducción, o una planta potabilizadora.

• **Tratamiento de Potabilización**

Se refiere a aquellos procesos que de una u otra forma sean capaces de alterar favorablemente las condiciones de un agua.

Básicamente los objetivos principales de una planta potabilizadora son:

- Segura para consumo humano
- Estéticamente aceptable
- Economía

• Regularización

Tiene por objeto transformar el régimen de alimentación de agua proveniente de la fuente que generalmente es constante en el régimen que generalmente es variable.

• Distribución

Después de la regulación, el sistema de distribución debe entregar el agua a los consumidores. Normalmente se compone de bombas, tuberías, válvulas de regulación, tomas domiciliarias y medidores.

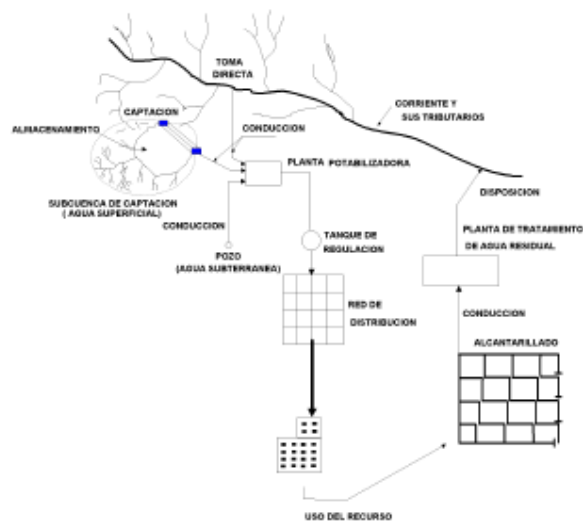


Fig. 4.7. Configuración general de un sistema hidráulico urbano

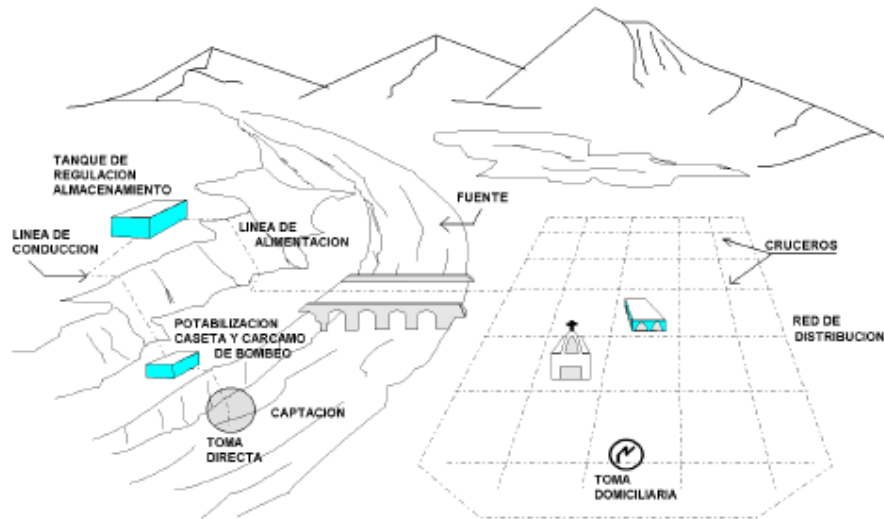


Fig. 4.8. Esquema general de un sistema de abastecimiento de agua potable

4.6. Datos básicos de proyecto

4.6.1. Período de diseño

Cuando se realiza un proyecto, se debe prever que los elementos del sistema tengan capacidad para dar servicio durante un período a futuro a partir de su instalación, a este espacio de tiempo se le denomina, Período de Diseño. Al proyectar de esta manera se intenta satisfacer las necesidades de la sociedad que se comporta de forma dinámica.

El período de diseño es menor que la vida útil, porque se considera que durante este los elementos funcionen sin tener gastos elevados que hagan su operación incosteable.

Con respecto a la parte financiera de las obras se considera un Período Económico de las Obras, que se define como, el tiempo durante el cual la obra de ingeniería funciona económicamente. En sentido estricto al término de este período se debería construir una obra nueva pero la situación económica actual del país no lo permite. Se debe buscar siempre el máximo rendimiento de la inversión.

Normalmente la estimación vida útil del sistema se basa en la obra electromecánica y de control ya que esta dura mucho menos que la obra civil.

A continuación se presenta una tabla con los períodos de diseño recomendables para los diferentes elementos de los sistemas de agua potable y alcantarillado.

ELEMENTO	PERIODO DE DISEÑO (AÑO)
Fuente	5
Pozo	hasta 20
Embalse (presa)	
Línea de conducción	de 5 a 20
Planta potabilizadora	de 5 a 10
Estación de bombeo	de 5 a 10
Tanque	de 5 a 20
Distribución primaria	de 5 a 20
Distribución secundaria	a saturación *
Red de atarjeas	a saturación *
Colector y Emisor	de 5 a 20
Planta de tratamiento	de 5 a 10

Cuadro 4.6. Período de diseño recomendables

ELEMENTO	VIDA UTIL (años)
Pozo	de 10 a 30
Obra civil	de 8 a 20
Obra electromecánica	
Línea de conducción	de 20 a 40
Planta potabilizadora	40
Obra civil	de 15 a 20
Obra electromecánica	
Estación de bombeo	40
Obra civil	de 8 a 20
Obra electromecánica	
Distribución primaria	de 20 a 40
Distribución secundaria	de 15 a 30
Red de atarjeas	de 15 a 30
Colector y Emisor	de 20 a 40
Planta de tratamiento	40
Obra civil	de 15 a 20

Cuadro 4.7. Vida útil de los elementos del Sistema de Agua Potable

4.6.2. Población

Para efecto de la elaboración de un proyecto, se parte de la población actual de la localidad, así como de la clasificación de su nivel socioeconómico dividido en tres tipos: Popular, Media y Residencial. Igualmente se debe distinguir entre si son zonas comerciales o industriales.

La población actual se determina en base a los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), tomando en cuenta los últimos tres censos disponibles para proyectar esta al año de realización de los estudios y proyectos. Estos datos se pueden validar con la información disponible en la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en cuanto a contratos de servicio, índice de hacinamiento y cobertura en el servicio de energía eléctrica.

En el cálculo de la población de proyecto intervienen diversos factores como son:

- Crecimiento histórico
- Variaciones de las tasas de crecimiento
- Características migratorias
- Perspectivas de desarrollo económico

La forma más conveniente para la estimación de la población del proyecto se basa en su pasado desarrollo, tomado de los datos estadísticos y adaptar su comportamiento a modelos matemáticos, como son el aritmético, geométrico, parabólico, etc.

Método Aritmético.

Este método considera un incremento de población constante para períodos de tiempo iguales, por lo tanto el incremento de habitantes con respecto al tiempo es constante, se expresa con la siguiente ecuación:

$$\frac{dp}{dt} = Ka \quad \dots\dots\dots dp = Kadt \quad \boxed{\text{Ec. 4.1}}$$

Integrando se obtiene.... $P_2 - P_1 = Ka(t_2 - t_1)$ Ec. 4.2

para un tiempo T $P = P_1 + Ka(T - t_1)$ Ec. 4.3

Método Geométrico

Este método de población se caracteriza por tener una velocidad de crecimiento directamente proporcional a la población en cada instante de tiempo.

$$\frac{dp}{dt} = K_g P \dots\dots\dots \frac{dp}{P} = K_g dt \quad \boxed{\text{Ec. 4.4}}$$

Integrando se obtiene... $\ln P_2 - \ln P_1 = K_g(t_2 - t_1)$ $\boxed{\text{Ec. 4.5}}$

para un tiempo T $\ln P = \ln P_2 + K_g(T - t_2)$ $\boxed{\text{Ec. 4.6}}$

la ecuación 5.6 se puede expresar como $\ln P = \ln P_0 + K_g t$ $\boxed{\text{Ec. 4.7}}$

aplicando antilogaritmos cuando P_0 es la población para $t=0$ $P = P_0 e^{K_g t}$ $\boxed{\text{Ec. 4.8}}$

sustituyendo e^{K_g} por $(1+i)$, donde i es la tasa de crecimiento obtenemos

$$P = P_0 (1+i)^t \quad \boxed{\text{Ec. 4.9}}$$

$$i = \sqrt[t]{\frac{P}{P_0}} - 1 \quad \boxed{\text{Ec. 4.10}}$$

4.6.3. Demanda

CONSUMO

El consumo de líquido de cada población esta determinada por distintos factores, como son el clima, la hidrología, la clasificación del usuario, las costumbres locales, la actividad económica, etc. Por ejemplo:

- El consumo se clasifica según el tipo de usuario en: Doméstico, Comercial, Industrial o de Servicios públicos. El de tipo doméstico se divide a su vez en Popular, Medio y Residencial, dependiendo del nivel económico del usuario. El industrial se divide en turístico e industrial, cuando las demandas parciales sean significativas con respecto a la total.
- Los climas extremos incrementan el consumo, en el cálido para satisfacer las necesidades humanas y en el frío aunque disminuye el consumo humano se incrementa el consumo por las fugas.
- La disponibilidad del agua también repercute en el consumo, a mayor dificultad de obtención menor cantidad distribuida
- Las localidades que cuentan con red de alcantarillado su consumo se incrementa

4.6.4. Dotación

Como dotación se define a la cantidad de agua que se destina para cada habitante y que incluye el consumo de todos los servicios que realiza en un día medio anual, tomando en cuenta las pérdidas.

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (° C)	TIPO DE CLIMA
Mayor que 22	CÁLIDO
De 18 a 22	SEMICÁLIDO
De 12 a 17.9	TEMPLADO
De 5 a 11.9	SEMIFRÍO
Menor que 5	FRÍO

Cuadro 4.8. Clasificación de climas por su temperatura

DOTACION DE AGUA POTABLE (l/hab/día)			
	C L I M A		
Numero de Habitantes	Cálido	Templado	Frío
2 500 a 15 000	150	125	100
15 000 a 30 000	200	150	125
30 000 a 70 000	250	200	175
70 000 a 150 000	300	250	200
Mayor de 150 000	350	300	250

Cuadro 4.9. Dotación de agua potable por clima y no. de habitantes

4.6.5. Variaciones.

La demanda de agua no es constante durante el año, inclusive se presentan variaciones durante el día, esto hace necesario que se calculen gastos máximos diarios y máximos

horarios. Para el cálculo de estos es necesario utilizar Coeficientes de Variación diaria y horaria respectivamente.

Los valores de los coeficientes de variación son los siguientes:

- Coeficiente de Variación Diaria

$CV_d = 1.2$ a 1.5 normalmente se utiliza 1.2

- Coeficiente de Variación Horaria

$CV_h = 1.5$ a 2.0 normalmente se utiliza 1.5

4.6.6. Gastos

- Gasto medio diario.

Cantidad de agua requerida por un habitante en un día de consumo promedio

$$Q_{med} = \frac{P \times D}{86,400}$$

En donde:

Q med = Gasto medio diaria, en lps

P = Número de habitantes

D = Dotación, l/hab/día

86,400 = segundos /día

- Gasto máximo diario

Este gasto se utiliza como base para el cálculo del volumen de extracción diaria de la fuente de abastecimiento, el equipo de bombeo, la conducción y el tanque de regulación y almacenamiento.

$$Q_{MD} = CV_d \times Q_{med}$$

En donde:

QMD = Gasto máximo diario, en lps

CVd = Coeficiente de variación diaria

Q med = Gasto medio diaria, en lps

- Gasto máximo horario

Gasto que se toma como base para el cálculo del volumen requerido por la población en el día de máximo consumo y a la hora del máximo consumo.

$$Q_{MH} = CV_d \times Q_{MD}$$

En donde:

QMH = Gasto máximo horario, en lps

CVd = Coeficiente de variación diaria

QMD = Gasto máximo diario, en lps

4.6.7. Velocidades permisibles.

La velocidad permisibles de conducción del agua dentro de las tubería esta determinadas por los efectos de erosión y de asentamiento de partículas, esto es, el límite máximo de velocidad depende de la resistencia a la erosión del material del cual este fabricado el tubo, y no así el límite mínimo el cual es independiente del material.

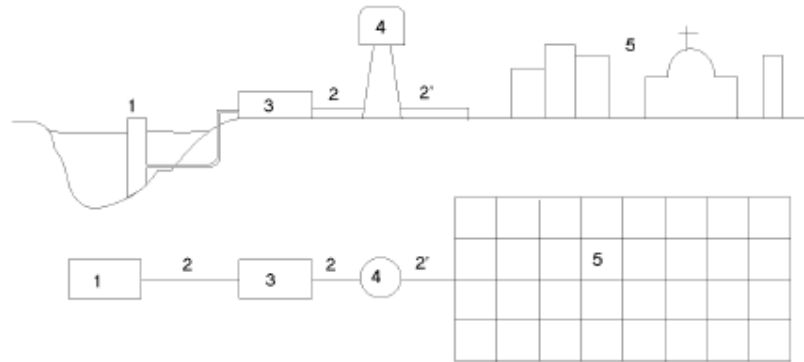
MATERIAL DEL TUBO	VELOCIDAD PERMISIBLE	
	MINIMA (m/s)	MAXIMA (m/s)
Concreto Simple hasta 45 cm	0.3	3.0
Concreto Reforzado de 45 cm o mayores	0.3	3.5
Concreto Presforzado	0.3	5.0
Asbesto Cemento	0.3	5.0
Acero Galvanizado	0.3	5.0
Acero sin revestimiento	0.3	5.0
Acero con revestimiento	0.3	5.0
PVC	0.3	5.0
Polietileno de Alta Densidad		

Cuadro 4.10. Velocidades permisibles de conducción para tubería de diferentes materiales.

4.6.8. Regulación

Se entiende por regulación al cambio entre el régimen constante que tiene la alimentación y el régimen variable de la demanda.

El tanque regulador debe proporcionar un servicio eficiente, cumpliendo con las normas de higiene y seguridad. El tanque se dimensiona en base al gasto máximo diario y la ley de las demandas de la localidad, además se debe contemplar en el dimensionamiento un volumen extra de almacenamiento para cubrir cualquier demanda de emergencia, como puede ser una falla en el sistema de alimentación (bomba, conducción, etc..), un incendio, etc.



ELEMENTO	GASTO DE DISEÑO
1. Fuente y obra de captación	QMD
2. Conducción	QMD
2'. Conducción (alimentación a la red)	QMH
3. Potabilizadora	*
4. Tanque de regulación	QMD
5. Red de distribución	QMH
Donde:	QMD = Gasto máximo diario
Qm = Gasto medio	QM = Gasto máximo
QMH = Gasto máximo horario	
Qm o QMD = En proceso	
*	
QMD = En funcionamiento hidráulico	

Fig. 4.9. Gastos de diseño de los elementos de un sistema de agua potable

HORAS	POBLACIONES PEQUEÑAS (*)	IRAPUATO (*)	TORREON (*)	CIUDAD DE MEXICO (*)
0 - 1	45	50	53	61
1 - 2	45	50	49	62
2 - 3	45	50	44	60
3 - 4	45	50	44	57
4 - 5	45	50	45	57
5 - 6	60	50	56	56
6 - 7	90	120	126	78
7 - 8	135	180	190	138
8 - 9	150	170	171	152
9 - 10	150	160	144	152
10 - 11	150	140	143	141
11 - 12	140	140	127	138
12 - 13	120	130	121	138
13 - 14	140	130	109	138
14 - 15	140	130	105	138
15 - 16	130	140	110	141
16 - 17	130	140	120	114
17 - 18	120	120	129	106
18 - 19	100	90	146	102
19 - 20	100	80	115	91
20 - 21	90	70	75	79
21 - 22	90	60	65	73
22 - 23	80	50	60	71
23 - 24	60	50	53	57

Cuadro 4.11. Variación horaria del consumo en varias ciudades

* Cantidades en porcentaje del gasto máximo diario.

BANOBRAS con los datos de poblaciones pequeñas realizó el cálculo del coeficiente de regularización, considerando bombeo de la fuente de abastecimiento, trabajando las 24 hrs del día.

HORAS	SUMINISTRO (Q bombeo)	DEMANDA HORARIA	DIFERENCIA (suministro- demanda)	DIFERENCIA ACUMULADA
-------	----------------------------	--------------------	--	-------------------------

	en %	en %		
0 - 1	100	45	+55	55
1 - 2	100	45	+55	110
2 - 3	100	45	+55	165
3 - 4	100	45	+55	220
4 - 5	100	45	+55	275
5 - 6	100	60	+40	315
6 - 7	100	90	+10	325
7 - 8	100	135	-35	290
8 - 9	100	150	-50	240
9 - 10	100	150	-50	190
10 - 11	100	150	-50	140
11 - 12	100	140	-40	100
12 - 13	100	120	-20	80
13 - 14	100	140	-40	40
14 - 15	100	140	-40	0
15 - 16	100	130	-30	-30
16 - 17	100	130	-20	-60
17 - 18	100	120	-20	-80
18 - 19	100	100	0	-80
19 - 20	100	100	0	-80
20 - 21	100	90	+10	-70
21 - 22	100	90	+10	-60
22 - 23	100	80	+20	-40
23 - 24	100	60	+40	0
TOTAL	2,400	2,400		

Cuadro 4.12. Cálculo de la capacidad de regulación en poblaciones pequeñas

4.7. Acoplamiento de la tubería.

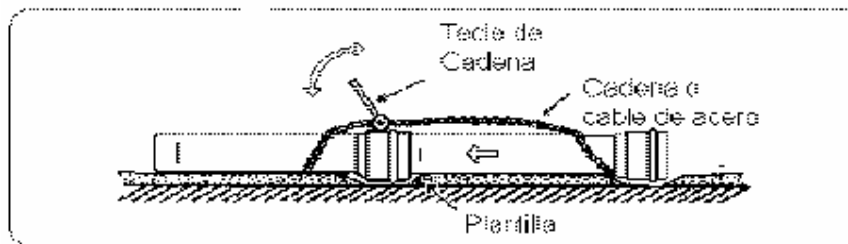
La figura 4.10. muestra la forma de instalar la tubería de PVC con unión anger. La instalación de los tubos de PVC consiste en la unión de los tramos de tubo, dentro o fuera de la zanja. La espiga del primer tramo a instalar se apoya sobre algún material duro (base de concreto, roca, pared de la zanja o cualquier objeto fijo) y se procede a unir los dos tramos.

Para diámetros de 13 mm a 200 mm (1/2" a 8") Serie Inglesa y de 160 mm a 400 mm Serie Métrica, el acoplamiento puede hacerse manualmente o con barreta, con la que se hace palanca, protegiendo adecuadamente la campana con un taquete de madera. (figura 4.11.)

Para diámetros de 450 mm a 630 mm Serie Métrica el acoplamiento se hace ayudándonos con un tecele de cadena de una tonelada de capacidad y dos estrobos de cable de acero, o dos tramos de cadena de 3/8" x 3 m cada uno. (figura 4.11.)



4.10. Instalación y acoplamiento de la tubería



4.11. Forma de instalación de la tubería

La ventaja de la unión anger entre otras son: el movimiento relativo que existe entre la espiga y la campana que permite acomodarse del suelo; al seguir los lineamientos de instalación e introducir la espiga dentro de la campana hasta la marca tope, deja dentro de la campana un espacio llamado, cámara de dilatación, el cual le permite al tubo contraerse y dilatarse debido a la variación de la temperatura; el anillo empaque permite que la unión sea hermética por lo que no permite fugas, El anillo empaque se fabrica de material elastomérico según Norma NMX-E-111.

4.8. Instalación en la zanja.

Relleno Compactado: El tubo de PVC debe ser instalado sobre una cama o plantilla apropiada que proporcione un soporte longitudinal uniforme bajo el tubo. El material de relleno debe ser compactado bajo los lados del tubo para tener un buen acostillado. El relleno inicial debe ser depositado a una altura suficiente sobre el lomo del tubo como protección al impacto durante el relleno final (a volteo o compactado según lo especifique el proyecto). Todo el material de relleno compactado debe ser seleccionado y depositado cuidadosamente, evitando piedras y escombros, además no se recomienda usar arcillas de alta plasticidad. Una apropiada compactación del material del acostillado, que es la sección del relleno que va desde la parte baja del tubo hasta el eje del mismo, es fundamental para obtener el peso volumétrico de suelo especificada por el Ingeniero de diseño. (figura 4.16.)

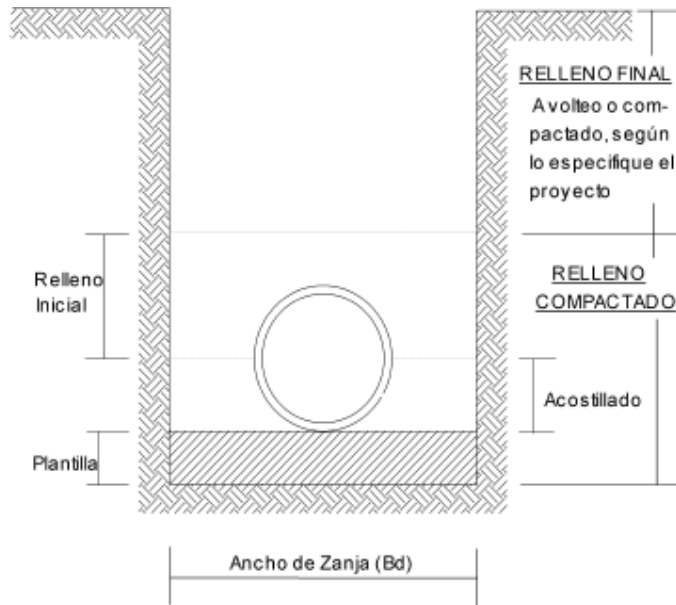


Fig. 4.12. Zanja tipo

La compactación del relleno es fundamental para el buen comportamiento mecánico del tubo.

Relleno final (a volteo o compactado): Después de depositar y compactar los materiales de relleno inicial, se hace el relleno final el cual puede ser depositado con máquina y puede contener piedras y rocas no muy grandes y escombro; el relleno final puede ser a volteo o compactado según lo especifique el proyecto.

4.8.1. Dimensiones de la zanja.

El siguiente cuadro muestra las dimensiones recomendadas de zanja para la tubería tanto en Serie Inglesa como en Serie Métrica.

Diámetro		Ancho de Zanja (m)	
Nominal		Recomendado por ITP para tubos de PVC	Recomendado por CNA
13 mm	1/2"	0.40	-

19 mm	3/4"	0.40	-
25 mm	1"	0.40	0.50
32 mm	1 1/4"	0.55	0.55
38 mm	1 1/2"	0.55	0.55
50 mm	2"	0.60	0.55
60 mm	2 1/2"	0.60	0.60
75 mm	3"	0.60	0.60
100 mm	4"	0.60	0.60
150 mm	6"	0.60	0.70
200 mm	8"	0.60	0.75

*Cuadro 4.13. Dimensiones de zanja recomendadas para tubería
Hidráulica Anger Serie Inglesa.*

Diámetro Nominal		Ancho de Zanja (m)	
		Recomendado por ITP para tubos de PVC	Recomendado por CNA
160 mm	6"	0.60	0.70
200 mm	8"	0.60	0.75
250 mm	10"	0.65	0.80
315 mm	12"	0.70	0.85
35.5 cm	14"	0.75	0.90
40 cm	16"	0.80	1.00
45 cm	18"	0.85	1.10
50 cm	20"	0.90	1.20
63 cm	24"	1.05	1.30

*Cuadro 4.14. Dimensiones de zanja recomendadas para tubería
Hidráulica Anger Serie Métrica.*

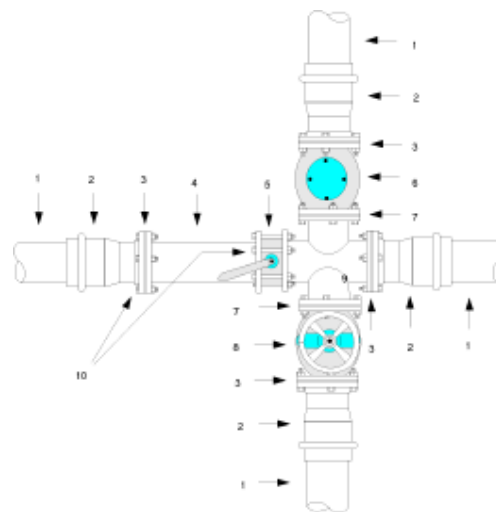
* ITP: Instituto de Tuberías Plásticas.

4.9. Instalación de piezas especiales.

La tubería de PVC ofrece una gran versatilidad de interconexión con otro tipos de materiales, ya sea Fierro Fundido (FoFo), Fierro Galvanizado (FoGo), Cobre, Asbesto Cemento y Polietileno ; entre otros.

Cuando se realizan un proyecto de agua potable con tubería de PVC existen muchas dudas acerca de los aspectos de instalación. Una de las dudas más comunes se refiere a la instalación de piezas especiales (conexiones) que se usan en los diámetros de 355 mm a 630 mm (14" a 24") para los cuales no existen conexiones fabricadas en PVC en el mercado mexicano, además de la instalación de válvulas de compuerta, válvulas de admisión expulsión de aire y válvulas de mariposa, entre otras. Otra duda común se refiere a la reparación de las tuberías dañadas cuando realizan los trabajos de mantenimiento preventivo o correctivo.

En este capítulo se presentan los esquemas de interconexión de la tubería de PVC con otros materiales , la reparación de una línea y la instalación de tomas domiciliarias. Creemos que esta información puede ser de utilidad tanto para el residente de obra, el diseñador, los instaladores e incluso el personal de compras; en las constructoras y a todo el personal de mantenimiento y reparación dentro de los Organismos Operadores de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado.



Componentes:

- 1.- Tubo de PVC
- 2.- Extremidad de PVC
- 3.- Empaque de hule
- 4.- Carrete de FoFo
- 5.- Válvula de mariposa
- 6.- Válvula de no retorno
(check)
- 7.- Empaque de plomo
- 8.- Válvula de compuerta
de FoFo
- 9.- Cruz de FoFo
- 10.- Tornillos o espárragos

*Fig. 4.13. Instalación de un cruceo tipo con tres derivaciones
usando piezas de FoFo*

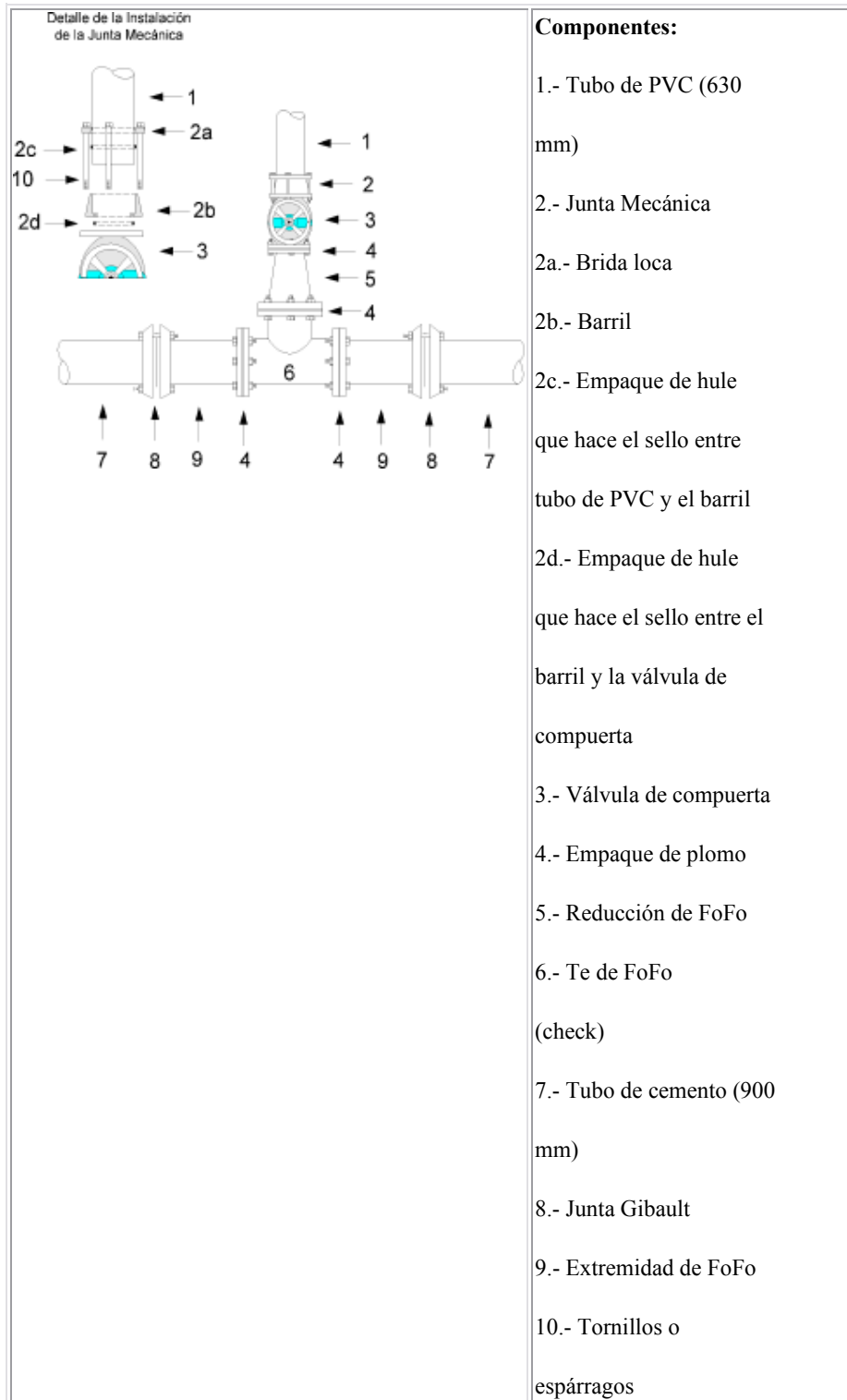
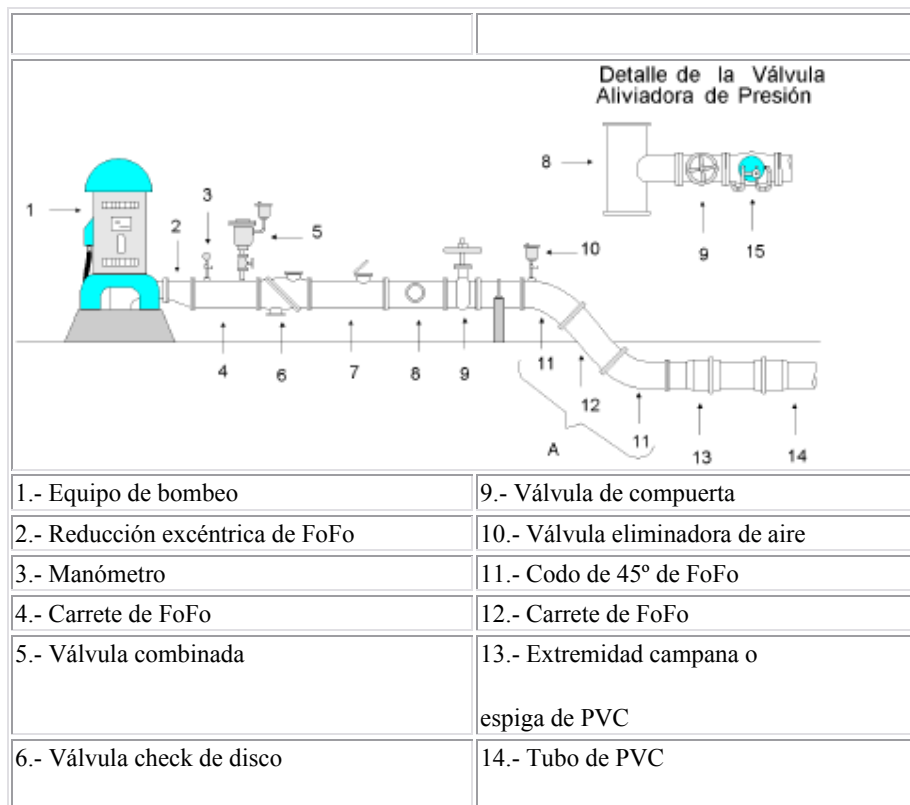


Fig. 4.14. Instalación de una derivación de PVC a partir de una línea usando piezas de FoFo

4.10. Pasos a seguir para la colocación de la junta mecánica.

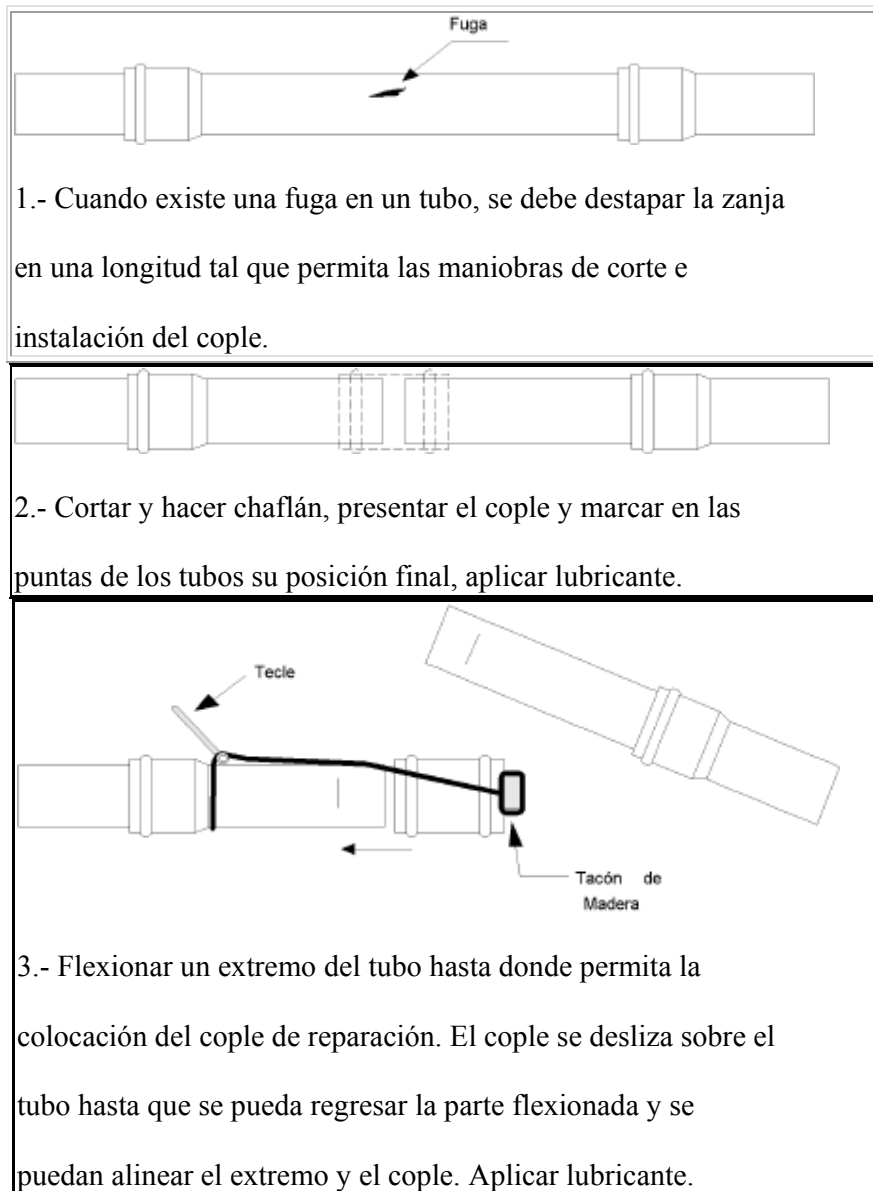
Como se ha mencionado anteriormente

1. Checar que la junta tenga todas las piezas completas, estas son: brida loca; empaque para el sello entre el tubo de PVC y el barril; barril; empaque para el sello entre el barril y la brida de la conexión de FoFo; y los tornillos o espárragos correspondientes.
2. El tubo se debe presentar en el barril con el fin de hacerle una marca de referencia de la profundidad a la que debe quedar dentro del barril. Se inserta la brida loca en la punta del tubo
3. Se coloca el empaque de hule en el tubo de PVC, el cual debe quedar justo sobre el tubo de tal forma que al colocarlo entre forzado.
4. Después se inserta la punta del tubo en el barril
5. Se coloca el segundo empaque de hule en el nicho que el barril tiene hecho expreso para hacer el sello del barril con la brida de la conexión de FoFo.
6. Se une el tubo con la junta mecánica a la conexión de FoFo, se colocan los tornillo o los espárragos y se aprietan en el orden mostrado en la figura del cuadro 8.9.
7. La manera de checar que la junta mecánica fue propiamente instalada es que la marca mencionada en el punto 2 llegue hasta el límite del barril. Otra manera, es cuando se hace la prueba hidrostática, checando que no se presenten fugas.



inclinado	
7.- Medidor de flujo	15.- Válvula de alivio de presión
8.- Te de FoFo para conexión de válvula de alivio	A.- Cuello de ganso o garza de Descarga

Fig. 4.15. Instalación de un cabezal de descarga unido a tubería de PVC



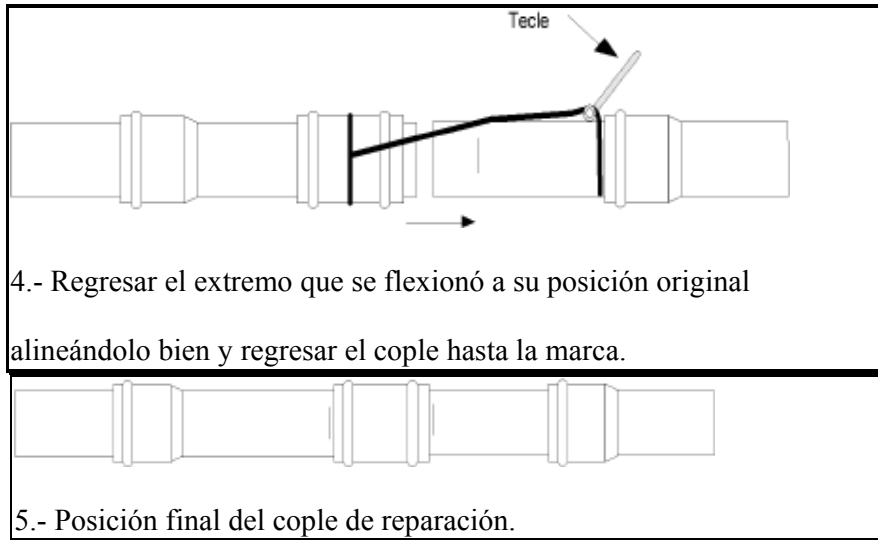


Fig. 4.16. Procedimiento de instalación de un cople reparación en una fuga

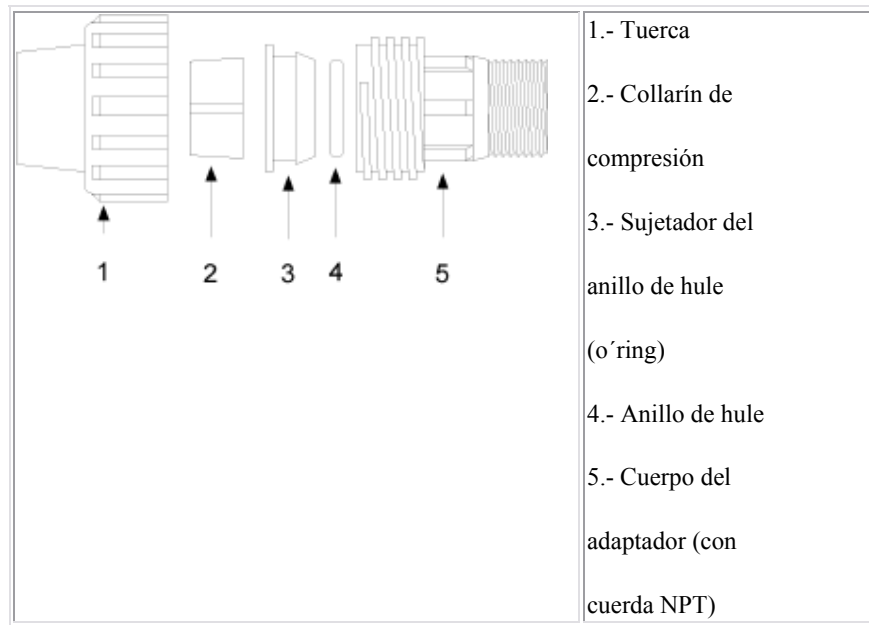
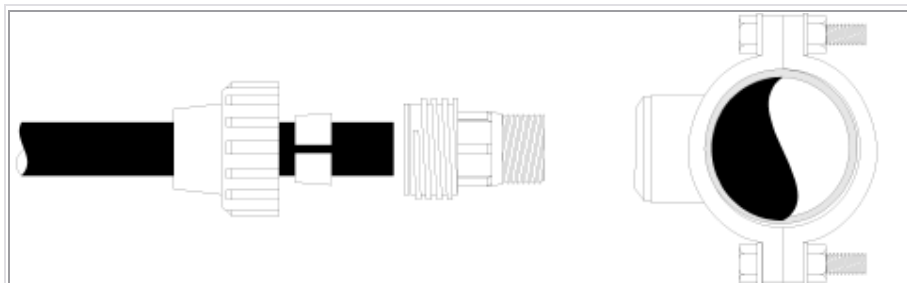


Fig. 4.17. Partes que conforman el Adaptador Compresión



Para Líneas Nuevas

1.- Se coloca la abrazadera en el lugar donde se va a hacer la toma sobre el tubo de PVC, a 45° respecto del lomo del tubo. Se procede a hacer la perforación con un taladro eléctrico y una broca de 1/2" o 5/8" según corresponda a abrazaderas con salida de 13 mm ó 19 mm.

2.- Unir el cuerpo del adaptador a la abrazadera. El apriete debe ser a mano y a tope.

3.- Para la toma domiciliaría se utiliza tubo de Polietileno de alta densidad (PEAD), el cual debe ser cortado a la longitud requerida desde el tubo de PVC de la red hasta el tubo rígido (cobre) correspondiente al predio.

El corte transversal de los dos extremos del tubo de PEAD que se va a utilizar, debe ser en ángulo recto.

4.- Introducir la tuerca en uno de extremos del tubo de PEAD, después introducir el collarín de compresión de la forma en que se muestra en la figura.

5.- Introducir el tubo en el cuerpo del adaptador a tope. Se debe tener cuidado de que el sujetador del anillo y el anillo estén bien colocados dentro del cuerpo del adaptador.

6.- Unir la tuerca al cuerpo del adaptador, cuidando que el apriete se haga a mano.

7.- El otro extremo regularmente se une a un tubo metálico (tubo de cobre) del cuadro del medidor, utilizando un adaptador

compresión y un codo de 90° rosca interior de cobre (codo pipa) o un conector rosca interior de cobre.

Fig. 4.18. Instalación del adaptador compresión al tubo

4.11. Atraques.

Todos los tipos de tubería requieren de atraques para ser fijadas al terreno que las rodea, los atraques consisten de un bloque de concreto formado con una parte de cemento, dos de arena y cinco de grava . Los atraques se deben hacer en los cambios de dirección (codos, tees, cruces), en los cambios de diámetro (reducciones), en las terminales (tapones y tapas) y en válvulas e hidrantes, en los cuales el esfuerzo se desarrolla al cerrarlos.

El tamaño del atraque depende de :

- La presión máxima del sistema (se debe considerar 1.5 veces la presión de trabajo, la cual es la presión a la que se prueba la tubería en campo)
- El tamaño del tubo (diámetro)
- Tamaño de accesorios
- Tipo de conexiones o accesorios
- Perfil de la línea (por ejemplo. curvas horizontales o verticales)
- Tipo de suelo

4.11.1. Localización de los atraques

- 1.- Tes
- 2.- Cruz con reducción
- 3.- Te usada como codo en un cambio de dirección
- 4.- Codo (cambio de dirección)
- 5.- Válvula con anclaje
- 6.- Codo con anclaje (cambio de dirección vertical)

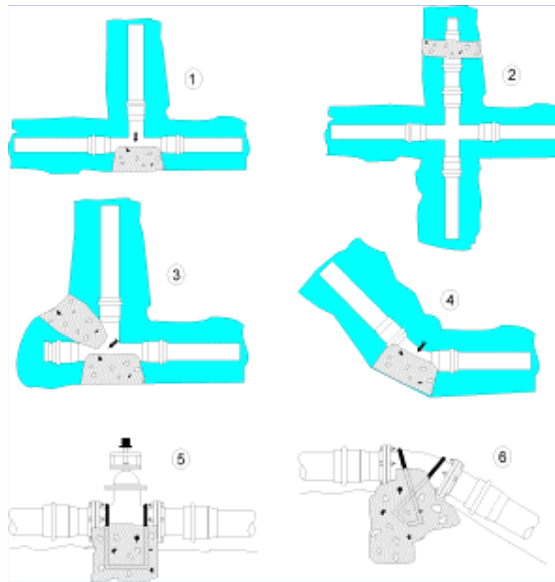


Fig. 4.19. Localización de atraques

4.11.2. Dimensión de los atraques

La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G.C.O.H.) del Departamento del Distrito Federal (D.D.F.); especifica las dimensiones de los atraques para piezas de hierro fundido (FoFo.) como se presentan en el siguiente cuadro.

Diámetro Nominal de la pieza especial		Medidas de los atraques en centímetros		
mm	pulgadas	Altura	Lado A	Lado B
76	3	30	30	30
102	4	35	30	30
153	6	40	30	30
203	8	45	35	35
254	10	50	40	40
305	12	55	45	40

356	14	60	50	40
406	16	65	55	40
457	18	70	60	40
508	20	75	65	45
610	24	85	75	50
762	30	100	90	55
914	36	115	105	60
1067	42	130	120	65
1219	48	145	130	70

Cuadro 4.15. Dimensiones mínimas de los atraques de concreto para piezas especiales de FoFo.

En el cuadro anterior se resumen las dimensiones de los atraques, sin embargo si se quiere tener las dimensiones para diferentes tipos de suelo y diferentes presiones internas del tubo se presentan las fórmulas para el cálculo:

La fuerza que se desarrolla dentro del tubo se obtiene como sigue:

$$F = P \cdot s \quad (8.1)$$

Donde:

F = Fuerza resultante de la presión interna (kg)

P = Presión interna en la tubería (kg/cm²)

s = Área interior del tubo (cm²) $s = \pi D I^2 / 4$

La fuerza de empuje (R) se calcula con las siguientes relaciones:

Para codos:

$$R = 2F \cdot \text{sen} \frac{\alpha}{2} \quad (8.2)$$

Siendo:

α = Ángulo de deflexión de la conexión, (grados)

Para tes:

$$R = F \text{ (8.3)}$$

La superficie de apoyo del atraque se define como:

$$A = R/T$$

Donde:

A = Superficie de apoyo necesario para el atraque (cm²)

T = Resistencia que opone el terreno a la introducción del atraque (kg/cm²)

Tipo de suelo	T (kg/cm ²)
Terreno blando (lodoso, barro suave)	0.4
Terreno rígido (arena)	1.0
Terreno semifirme (arena y grava)	2.0
Terreno duro	4.0
Terreno rocoso	15.0

Cuadro 4.16. Resistencia que opone el terreno (T)

a la introducción del atraque

La fuerza que se desarrolla en los tubos para diferentes presiones se muestra en el siguiente cuadro:

	RD 41		RD 32.5		RD 26	
DN	PT	PP	PT	PP	PT	PP
mm	7.10	10.65	8.70	13.05	11.20	16.80
38			136.53	204.79	169.53	254.29
50	179.91	269.86	215.82	323.72	268.03	402.05
60	264.72	397.08	316.89	475.33	393.70	590.54
75	393.47	590.20	470.72	706.08	585.72	878.58
100	652.83	979.25	779.38	1,169.08	969.81	1454.71
150	1,420.41	2,130.62	1,695.00	2,542.50	2,099.74	3,149.61
200	2,410.22	3,615.33	2,868.75	4,303.13	3,564.47	5,346.71

Cuadro 4.17. Fuerza Resultante (F) en kilogramos para diferentes presiones

en tubo Hidráulico S.I. para dimensionamiento de los atraques

PT: Presión recomendada de trabajo PP: Presión de prueba en campo

	Clase 5		Clase 7		Clase 10		Clase 14	
DN	PT	PP	PT	PP	PT	PP	PT	PP
mm	5.00	7.50	7.00	10.50	10.00	15.00	14.00	21.00
160	930.	1,395.	1,263.	1,895.	1,724.	2,587.	2,273.	3,410.
	12	17	53	30	99	48	71	57
200	1,453.	2,180.	1,974.	2,961.	2,696.	4,045.	3,554.	5,331.
	68	53	27	40	75	13	65	98
250	2,273.	3,409.	3,088.	4,632.	4,216.	6,324.	5,556.	8,334.
	27	91	05	08	40	60	62	93
315	3,605.	5,408.	4,901.	7,352.	6,692.	10,03	8,818.	13,22
	33	00	93	90	03	8.05	70	8.05
355	4,587.	6,881.	6,225	9,337	8,511	12,76	11,21	16,81
	79	69	.27	.90	.57	7.35	0.26	5.39
400	5,823.	8,735.	7,905	11,858	10,798	16,19	14,24	21,36
	81	71	.41	.12	.65	7.97	2.35	3.52
450	7,369.	11,054	10,009	15,014	13,670	20,50	18,02	27,03
	48	.22	.98	.97	.31	5.47	6.59	9.88
500	9,096.	13,645	12,362	18,543	16,887	25,33	22,24	33,36
	86	.29	.63	.95	.45	1.17	6.25	9.38
630	14,445.	21,667	19,627	29,441	26,804	40,20	35,32	52,98
	13	.70	.44	.17	.83	7.24	4.63	6.94

Cuadro 4.18. Fuerza Resultante (F) en kilogramos para diferentes presiones en tubo Hidráulico S.M. para dimensionamiento de los atraques

CONCLUSIONES

Después de analizar el presente trabajo de forma general podemos decir que se cumplió con el objetivo principal de reunir los criterios generales a seguir para la realización de proyectos en los cuales se pretende diseñar un sistema de líneas de agua potable. Ya que en dicho trabajo se pudo realizar una búsqueda de conceptos ingenieriles los cuales nos permitan dar pauta para poder enfrentar un proyecto de esta índole tomando en cuenta todo lo referente a lo que el ingeniero mecánico electricista le compete.

Para lograr lo anterior nos basamos en gran parte a los conocimientos recibidos durante el transcurso de la carrera de ingeniero mecánico electricista ya que se pudo analizar que los aspectos teóricos que se nos enseñan durante la carrera son trascendentales para poder elaborar un trabajo de este tipo poniendo en práctica los conocimientos que adquirimos a un proyecto real de ingeniería ya en la industria o cualquier área de trabajo.

Así mismo podemos deducir que el ingeniero mecánico electricista está muy ligado a muchas áreas en el campo laboral, debido a que este trabajo podría verse como un proyecto de ingeniería civil solamente, pero se analizó que el ingeniero mecánico electricista tiene mucho que aportar a dichos proyectos y que además es una pieza clave para poder hacer un análisis de los diferentes fenómenos que se presentan dentro de una tubería que conduce un fluido en este caso el agua. Además de poder justificar el comportamiento de ciertos materiales a diferentes agentes externos o al trato que se les vaya a dar para que cumplan con cierto propósito como se vio en el efecto que causa el suelo sobre la tubería por el tipo de material por citar un ejemplo.

Con respecto al pvc se puede decir que es un material muy cuestionado por considerarse como no benéfico para el medio ambiente pero nosotros llegamos a la conclusión de que es un material que se ha estado utilizando y se seguirá utilizando en estos proyectos debido a que reduce costos y de acuerdo a ciertos laboratorios como se mencionó al principio de la tesis no hay elemento científico para no utilizarlo, además de que siempre los inversionistas nos van a solicitar a que disminuyamos los gastos a como de lugar y un ingeniero debe de estar capacitado para hacer frente a estos retos y eso se logra utilizando los conocimientos adquiridos en su profesión.

También pretendemos con este trabajo que los futuros profesionistas se den una idea al consultar esta tesis de lo que se puede encontrar ya cuando empiecen a desarrollar su profesión y vaya a ser participes de proyectos como los que se analizaron en esta tesis ya que como se dijo al principio de este trabajo un uso eficiente del agua implica la utilización de mejores sistemas de extracción, conducción y almacenamiento de agua; además del cambio de la forma de pensar de los usuarios de este vital líquido. Así que estos proyectos se seguirán diseñando a mediano y largo plazo.

Por último podemos afirmar que esta tesis es solo una parte de lo que se hace en un proyecto de red de agua potable ya que en este trabajo se consideraron solo aspectos fundamentales en los cuales interviene el ingeniero mecánico electricista ya que existen otras tesis donde se propone sistemas de bombeo para un sistema de agua potable y en otros la parte de calidad de estos proyectos, otros consideran la parte económica en fin pero consideramos que es importante recalcar este comentario.

BIBLIOGRAFÍA

- www.amiclor.org/opcionesinfo_pvc.html
- Arteaga Tovar, R. Eduardo, 1993. Hidráulica Elemental.
- César Valdez, Enrique. 1992. Abastecimiento de Agua Potable. UNAM. Facultad de Ingeniería.
- CNA. 1992. Lineamientos Técnicos para la elaboración de Estudios y Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. México.

- ITP, 1991. Manual de construcción de sistemas para abastecimiento de agua potable con tubería de PVC. Instituto de Tuberías Plásticas. México.
- Mancebo del Castillo, Uriel. 1987. Teoría del golpe de ariete y sus aplicaciones en Ingeniería hidráulica. México.
- Olver B., Fernando. 1986. Estructuración de Vías Terrestres. México
- Rendón Uribe, Enrique. 1990. El control de aire en los sistemas hidráulicos. Revista Agua Potable, Vol. 5. No. 64. pp. 34-37. México.
- Renval. Sin fecha. Catálogo técnico de productos de válvulas de aire.
- Renval. Sin fecha. Boletín Técnico No. 1. Localización y cálculo de válvulas eliminadoras de aire
- Sotelo Ávila, Gilberto. 1987. Hidráulica General, Volumen 1, Fundamentos. México.
- Sotelo Ávila, Gilberto. 1986. Apuntes de Hidráulica II. UNAM; Facultad de Ingeniería;
- SRH. 1961. Mecánica de Suelos, Instructivo para ensayo de suelos.
- Trueba Coronel, Samuel. 1956. Hidráulica. México.
- Tubos Flexibles. Sin Fecha. Boletines Técnicos de la línea hidráulica Duralón. México.
- UNAM. 1988. Normas de Proyecto para Obras de Alcantarillado Sanitario en Localidades Urbanas de la República Mexicana. Facultad de Ingeniería. México.
- Unibell. 1982. Handbook of PVC Pipe, Design and Construction. Unibell Plastics Pipe Association. EE. UU.