

DURALON®

LÍNEA HIDRÁULICA

Criterios de Diseño para
Redes de Agua Potable
Empleando tubería
de PVC



Productos



Productos Nacobre S.A. de C.V.



Criterios de Diseño para Redes de Agua Potable Empleando Tubería de PVC



INDICE GENERAL

	Página
1. Introducción	1-1
1.1. Generalidades	1-2
1.2. Curriculum de obras hechas con tubería DURALÓN	1-2
1.3. Productos de calidad	1-2
2. Procesos de fabricación de la tubería de PVC	2-1
2.1. Breve historia del PVC	2-1
2.2. Obtención del Poli-Cloruro de Vinilo (PVC)	2-1
2.3. Procesos de fabricación de la tubería de PVC	2-3
2.3.1. Extrusión	2-3
2.3.2. Inyección	2-5
2.4. Aseguramiento de Calidad	2-5
3. Clasificación de la tubería hidráulica de PVC Duralón y cumplimiento con normas	3-1
3.1. Clasificación por sistema de dimensionamiento	3-1
3.1.1. Serie Inglesa (SI)	3-1
3.1.2. Serie Métrica (SM)	3-1
3.2. Clasificación por Clases, RD's y Cédula	3-1
3.2.1. Relación de dimensiones (RD)	3-1
3.2.2. Clases	3-2
3.2.3. Cédulas	3-2
3.2.4. Clases (C900)	3-3
3.3. Clasificación por tipos de unión	3-3
3.4. Resumen de los diferentes tipos de tubería	3-5
3.5. Cumplimiento con normas Nacionales e Internacionales de la tubería DURALÓN Serie Métrica e Inglesa	3-6
4. Catálogo de productos	4-1
4.1. Tubería de PVC DURALÓN Hidráulico Anger Serie Inglesa (HASI)	4-1
4.2. Conexiones de la línea DURALÓN HASI	4-2
4.3. Tubería de PVC DURALÓN Hidráulica Anger Serie Métrica (HASM)	4-3



	Página
4.4. Conexiones de la línea DURALÓN HASM	4-7
4.5. Tubería de PVC DURALÓN Hid. Cem. Serie Inglesa (HCSI) y Cédula 40	4-11
4.6. Conexiones de la línea DURALÓN Hidráulica Cementar Cédula 40	4-13
4.7. Tubería de PVC DURALÓN Hidráulica Anger C 900	4-17
4.8. Toma Domiciliaria (TD)	4-18
4.9. Conexiones de la línea TD	4-18
4.10. Accesorios para las líneas de tubería hidráulica	4-19
5. Elaboración de proyectos	5-1
5.1. Descripción de los elementos de un sistema de Agua Potable (TRTD)	5-1
5.2. Datos básicos de proyecto	5-3
5.2.1. Período de diseño	5-3
5.2.2. Población	5-4
5.2.3. Demanda	5-6
5.2.4. Dotación	5-7
5.2.5. Variaciones	5-7
5.2.6. Gastos	5-8
5.2.7. Velocidades permisibles	5-9
5.2.8. Regulación	5-10
6. Aspectos hidráulicos	6-1
6.1. Cálculos hidráulicos en tuberías	6-1
6.2. Criterios para selección de diámetros	6-2
6.3. Fórmulas para cálculos de pérdidas de carga en tuberías	6-3
6.3.1. Fórmula de Darcy - Weisbach	6-3
6.3.2. Fórmula de Hazen - Williams	6-6
6.3.3. Fórmula de Manning	6-7
6.4. Cálculo de pérdidas locales	6-8
6.4.1. Método de las longitudes equivalentes	6-9
6.5. Golpe de ariete	6-13
6.5.1. Explicación del fenómeno	6-13
6.5.2. Cálculo del golpe de ariete	6-15
6.5.3. Dispositivos de alivio	6-18
6.5.3.1. Válvulas de no retorno ("check")	6-18
6.5.3.2. Válvulas de seguridad	6-18
6.5.3.3. Válvula aliviadora de presión o supresora de oscilaciones	6-18



6.5.3.4. Válvulas de admisión expulsión de aire	6-19
6.5.4. Instalación adecuada de las válvulas	6-19

	Página
6.6. El aire y el vacío dentro de las tuberías	6-20
6.6.1. Explicación del fenómeno	6-20
6.6.2. Accesorios para prevenir y controlar el aire y el vacío en las tuberías	6-22
6.6.3. Cálculo del diámetro mínimo de las válvulas	6-23
6.6.4. Colocación de las válvulas	6-24
6.7. Redes de distribución	6-25
6.7.1. Clasificación de los sistemas de distribución	6-25
6.7.2. Componentes del sistema de distribución	6-26
6.7.3. Presiones requeridas y velocidad de flujo	6-26
6.7.4. Diseño de sistemas de distribución ramificados	6-27
6.7.5. Diseño de sistemas de distribución en malla	6-34
6.8. Efecto de la deflexión de la tubería en la capacidad de conducción	6-36
6.9. Equipo de bombeo	6-38
6.9.1. Definiciones	6-38
6.9.2. Relaciones hidráulicas de un equipo típico de bombeo	6-38
6.9.3. Carga neta positiva de succión (CNPS) (Net Positive Suction Head - Npsh -)	6-40
6.9.4. Curvas características de las bombas	6-43
6.9.5. Motores	6-44
6.9.6. Equipos de pozo profundo	6-45
7. Comportamiento mecánico	7-1
7.1. Rigidez de la tubería	7-1
7.2. Influencia del suelo en tubería enterrada	7-3
7.3. Influencia del tráfico vehicular en la tubería enterrada	7-3
7.3.1. Cargas máximas permisibles en México para vehículos	7-4
7.4. Fórmulas para el cálculo de deflexión	7-5
7.4.1. Teoría de la deflexión de Spangler	7-5
7.4.2. Clasificación de suelos	7-8
7.4.2.1. Módulo de reacción del suelo (E')	7-9
7.5. Deflexión longitudinal	7-14
7.5.1. Deflexión permisible	7-14
7.5.2. Esfuerzo flexionante permitido	7-14
7.5.3. Momento flexionante	7-15
7.5.4. Radio mínimo de curvatura	7-15
7.5.5. Ángulo central	7-15
7.5.6. Ángulo de deflexión lateral	7-15
7.5.7. Desplazamiento del tubo (A)	7-15



7.5.8. Fuerza de desplazamiento	7-16
7.5.9. Deflexión longitudinal usando las uniones Anger	7-17

	Página
8. Instalación y manejo de la tubería	8-1
8.1. Transporte, manejo y almacenamiento en obra	8-1
8.1.1. Transporte	8-1
8.1.2. Carga, descarga y manejo	8-2
8.1.3. Almacenamiento en obra	8-3
8.2. Instalación	8-5
8.2.1. Conexiones de la línea Duralón	8-5
8.2.2. Acoplamiento de la tubería	8-5
8.2.3. Instalación en la zanja	8-7
8.2.4. Dimensiones de la zanja	8-8
8.2.5. Rendimientos de instalación	8-9
8.2.6. Instalación de piezas especiales	8-11
8.3. Atraques	8-17
8.3.1. Localización de los atraques	8-17
8.3.2. Dimensión de los atraques	8-18
8.4. Pruebas de presión en campo (pruebas hidrostáticas)	8-21
8.4.1. Cálculo de las presiones de trabajo de la tubería	8-21
8.4.2. Presión de prueba en campo de los tubos Duralón	8-22
8.4.3. Procedimiento de la prueba hidrostática en campo	8-22
9. Bibliografía	9-1
 Anexos	
A1. Tablas hidráulicas	A1-1
A2. Resistencia química del tubo de PVC 1114	A2-1
A3. Tablas complementarias	A3-1



INDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.1.	Curriculum de Acueductos realizados con tubería DURALÓN	1-2
Cuadro 3.1.	RD's comerciales y su presión recomendable de trabajo	3-2
Cuadro 3.2.	Clases comerciales y su presión recomendable de trabajo	3-2
Cuadro 3.3.	Presión recomendable de trabajo para tubería Cédula 40	3-2
Cuadro 3.4.	Presión recomendable de trabajo para tubería C 900	3-3
Cuadro 3.5.	Cumplimiento con normas de la tubería DURALÓN	3-5
Cuadro 4.1.	Especificaciones del tubo DURALÓN HASI	4-1
Cuadro 4.2.	Especificaciones del tubo DURALÓN HASM	4-6
Cuadro 4.3.	Especificaciones del tubo DURALÓN HCSI Extermos lisos	4-11
Cuadro 4.4.	Especificaciones del tubo DURALÓN HCSI con campana	4-12
Cuadro 4.5.	Especificaciones del tubo DURALÓN Hid. Cem. Cédula 40	4-13
Cuadro 4.6.	Especificaciones del tubo DURALÓN Hidráulico Anger C 900	4-17
Cuadro 4.7.	Especificaciones del Tubo Ramal Toma Domiciliaría PEAD	4-18
Cuadro 5.1.	Ventajas y desventajas de las fuentes de abastecimiento de agua potable superficiales y subterráneas	5-1
Cuadro 5.2.	Períodos de diseño recomendables	5-4
Cuadro 5.3.	Vida útil de los elementos de agua potable	5-4
Cuadro 5.4.	Clasificación de climas por su temperatura	5-7
Cuadro 5.5.	Dotación de agua por clima y No. de habitantes	5-7
Cuadro 5.6.	Velocidades permisibles de conducción para tubería de diferentes materiales	5-9
Cuadro 5.7.	Variación horaria del consumo en varias ciudades	5-11
Cuadro 5.8.	Cálculo de la capacidad de regulación en poblaciones pequeñas	5-11
Cuadro 6.1.	Constantes K para la relación 6.8	6-2
Cuadro 6.2.	Valores de la constante para la fórmula de cálculo del Número de Reynolds a diferentes temperaturas.	6-5



Cuadro 6.3. Valores de la Rugosidad Absoluta (ϵ) para diferentes materiales

6-5



		Página
Cuadro 6.4.	Valores del Coeficiente "C" para usarse en la fórmula de Hazen-Williams	6-7
Cuadro 6.5.	Valores del Coeficiente "n" para usarse en la fórmula de Manning	6-8
Cuadro 6.6.	Valores aproximados de Kx (pérdidas locales)	6-8
Cuadro 6.7.	Longitudes equivalentes a pérdidas locales (expresadas en metros de columna de tubería rectilínea)	6-9
Cuadro 6.8.	Valores del módulo de elasticidad E_t y K_a para diferentes materiales	6-15
Cuadro 6.9.	Velocidades de la onda de presión para cálculo de golpe de ariete tubería Duralón Hidráulica Serie Inglesa	6-15
Cuadro 6.10.	Velocidades de la onda de presión para cálculo de golpe de ariete tubería Duralón Hidráulica Serie Métrica	6-16
Cuadro 6.11.	Sobrepresión en m.c.a. debida al golpe de ariete para diferentes velocidades de flujo en tubería Duralón Hidráulica Serie Inglesa	6-16
Cuadro 6.12.	Sobrepresión en m.c.a. debida al golpe de ariete para diferentes velocidades de flujo en tubería Duralón Hidráulica Serie Métrica	6-17
Cuadro 6.13.	Guía para seleccionar la válvula eliminadora de aire necesaria	6-24
Cuadro 6.14.	Presiones usuales en la red de distribución	6-27
Cuadro 6.15.	Tabla de cálculo para red de distribución ramificada	6-31
Cuadro 6.16.	Reducción de la sección transversal del tubo y el gasto debido a la deflexión	6-37
Cuadro 6.17.	Presión barométrica para diferentes alturas sobre el nivel del mar	6-41
Cuadro 6.18.	Presión de vapor y gravedad específica (gs) a diferentes temperaturas	6-42
Cuadro 6.19.	Eficiencia en motores típicos (%) 60 ciclos	6-44
Cuadro 6.20.	Tamaño de los fusibles y los amperes aproximados de carga completa de los motores	6-44
Cuadro 6.21.	Capacidad de corriente de conductores de cobre aislados (amperes)	6-45
Cuadro 7.1.	Rigidez de la tubería Duralón S.I.	7-1
Cuadro 7.2.	Pesos de diferentes vehículos automotores	7-4



Cuadro 7.3. Factores de impacto vs profundidad de relleno 7-7

	Página
Cuadro 7.4. Principales tipos de suelos (SUCS)	7-8
Cuadro 7.5. Valores promedio del módulo de reacción del suelo (E') (para la deflexión inicial en tubos flexibles)	7-9
Cuadro 7.6. Guía aproximada para estimar el rango del grado de compactación vs la clase y el método de relleno como porcentaje Proctor o de la Densidad Relativa, para materiales granulares.	7-10
Cuadro 7.7. Porcentaje proctor y módulo de reacción del suelo (E') para diferentes clases de suelo	7-10
Cuadro 7.8. Deflexión longitudinal permisible en tubería Hidráulica Duralón Serie Inglesa	7-16
Cuadro 7.9. Deflexión longitudinal permisible en tubería Hidráulica Duralón Serie Métrica	7-17
Cuadro 8.1. Capacidad de carga de tubería Duralón Hidráulica Anger Serie Inglesa en camión tipo torton	8-1
Cuadro 8.2. Capacidad de carga de tubería Duralón Hidráulica Anger Serie Métrica en camión tipo torton	8-1
Cuadro 8.3. Dimensiones de zanja recomendables para tubería Duralón Hidráulica Anger Serie Inglesa	8-8
Cuadro 8.4. Dimensiones de zanja recomendables para tubería Duralón Hidráulica Anger Serie Métrica	8-8
Cuadro 8.5. Rendimiento de lubricante para uniones Anger, tubería Hidráulica Serie Inglesa	8-9
Cuadro 8.6. Rendimiento de lubricante para uniones Anger, tubería Hidráulica Serie Métrica	8-9
Cuadro 8.7. Rendimiento de cemento y limpiador para unión cementar, tubería Hidráulica Serie Inglesa	8-10
Cuadro 8.8. Rendimiento de instalación de la tubería de PVC Duralón tipo Anger	8-10
Cuadro 8.9. No. de tornillos y dimensiones para bridas de piezas de FoFo	8-12
Cuadro 8.10. Torsión recomendada de tornillos para unir por medio de bridas la tubería hidráulica de PVC (usando extremidades de PVC)	8-12
Cuadro 8.11. Dimensiones mínimas de los atraques de concreto para piezas especiales de FoFo	8-18



Cuadro 8.12. Resistencia que opone el terreno (T) a la introducción del atraque

8-19



	<u>Página</u>
Cuadro 8.13. Fuerza resultante (F) en kilogramos para diferentes presiones en tubo Duralón Hidráulico S.I. para dimensionamiento de los atraques	8-19
Cuadro 8.14. Fuerza resultante (F) en kilogramos para diferentes presiones en tubo Duralón Hidráulico S.M. para dimensionamiento de los atraques	8-19
Cuadro 8.15. Presión de trabajo, Presión de prueba y Presión de Reventamiento para tubería de PVC Duralón	8-22
Cuadro 8.16. Volumen de agua requerido en tubería Duralón S.I. para la prueba hidrostática en litros / 100 m de tubo	8-24
Cuadro 8.17. Volumen de agua requerido en tubería Duralón S.M. para la prueba hidrostática en litros / 100 m de tubo	8-24



INDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 2.1.	Fórmulas moleculares del VCM y el PVC	2-2
Figura 2.2.	Obtención del PVC	2-2
Figura 2.3.	Código de clasificación del compuesto de PVC Tipo 1, Grado 1 (NMX-E-31/94, ASTM D1784-78)	2-3
Figura 2.4.	Diagrama de flujo del proceso de extrusión del tubo de PVC	2-4
Figura 3.1.	Relación de dimensiones (RD)	3-1
Figura 3.2.	Unión Anger utilizada en la tubería DURALÓN mostrando las partes que la conforman	3-3
Figura 3.3.	Unión Cementar en un codo de 45° Cédula 40	3-3
Figura 3.4.	Unión bridada de tubería de PVC	3-4
Figura 3.5.	Adaptador macho mostrando la rosca NPT	3-4
Figura 3.6.	Unión de tubería de PVC a piezas de FoFo usando Junta Mecánica	3-5
Figura 4.1.	Tubo de PVC DURALÓN HASI	4-1
Figura 4.2.	Codo de 90°	4-2
Figura 4.3.	Codo de 45°	4-2
Figura 4.4.	Codo de 22°	4-2
Figura 4.5.	Adaptador campana	4-2
Figura 4.6.	Adaptador espiga	4-2
Figura 4.7.	Cople reparación	4-3
Figura 4.8.	Extremidad campana	4-3
Figura 4.9.	Extremidad espiga	4-3
Figura 4.10.	Tapón campana	4-3
Figura 4.11.	Reducción campana	4-4
Figura 4.12.	Cruz	4-4
Figura 4.13.	Te	4-4



Figura 4.14.	Abrazadera con salida rosca NPT	4-5
		Página
Figura 4.15.	Anillo Empaque	4-5
Figura 4.16.	Empaque para brida	4-5
Figura 4.17.	Tubo de PVC DURALÓN HASM	4-6
Figura 4.18.	Codo de 90°	4-7
Figura 4.19.	Codo de 45°	4-8
Figura 4.20.	Codo de 22°	4-8
Figura 4.21.	Cople reparación	4-8
Figura 4.22.	Extremidad campana	4-8
Figura 4.23.	Extremidad espiga	4-8
Figura 4.24.	Tapón campana	4-9
Figura 4.25.	Reducción campana	4-9
Figura 4.26.	Cruz	4-9
Figura 4.27.	Te	4-9
Figura 4.28.	Abrazadera con salida rosca NPT	4-9
Figura 4.29.	Anillo Empaque	4-10
Figura 4.30.	Empaque para brida	4-10
Figura 4.31.	Tubo de PVC DURALÓN HCSI extremos lisos	4-11
Figura 4.32.	Tubo de PVC DURALÓN HCSI con campana (casquillo)	4-12
Figura 4.33.	Tubo de PVC DURALÓN Hidráulico Cementar Cedula 40	4-13
Figura 4.34.	Codo de 90°	4-13
Figura 4.35.	Codo de 45°	4-14
Figura 4.36.	Te	4-14
Figura 4.37.	Cruz	4-14
Figura 4.38.	Cople	4-14
Figura 4.39.	Tapa	4-15



Figura 4.40. Reducción bushing

4-15

Figura 4.41. Adaptador macho

4-15





Capítulo 1

Introducción



CRITERIOS DE DISEÑO PARA REDES DE AGUA POTABLE EMPLEANDO TUBERÍA DE PVC.

1.- INTRODUCCION.

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 del recurso. 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. La tubería de Poli (cloruro de vinilo) (PVC) ofrece, entre otras características, las siguientes ventajas:

- 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 garantizan 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).

El presente manual 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; para los profesionistas en desarrollo que desconocen los productos existentes en el mercado, ventajas y limitaciones; dimensiones comerciales y principales propiedades para aplicarlo a su trabajo diario.

El manual 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.

El presente capítulo hace una presentación breve de la empresa, su curriculum en obras de gran importancia en toda la República Mexicana, con el fin de dar a conocer a la empresa como el principal productor de tubería de PVC de México.

El capítulo 2 trata de los procesos de fabricación de la tubería de PVC, la obtención de la resina y la inyección de piezas especiales. La clasificación de la tubería de PVC hidráulica que existe en el

mercado, se puede encontrar en el capítulo 3. En el capítulo 4, se presenta la línea de productos de **Tubos Flexibles**.

El capítulo 5, trata acerca de la Elaboración de Proyectos. El capítulo 6 sobre los aspectos hidráulicos: pérdidas de carga, golpe de ariete, y eliminación de aire. El capítulo 7 cubre los aspectos mecánicos como deflexión longitudinal y vertical. El capítulo 8, de Instalación y manejo de la tubería.

1.1.- Generalidades.

Tubos Flexibles, S.A. de C.V. es una empresa mexicana dedicada a la fabricación de tuberías y productos de PVC (Poli- (cloruro de vinilo)) cuyas aplicaciones cubren varias áreas de la construcción: agua potable, alcantarillado, tubería sanitaria, conduit eléctrico y telefonía.

Tubos Flexibles inicia funciones en 1946 produciendo Tubería Conduit Metálica Flexible, para alojar y proteger cables eléctricos y telefónico. Para la década de los 50's se inicio en la fabricación de Mangueras Flexibles para uso doméstico, empleando para ello uno de los termoplásticos de mayor versatilidad, el PVC. A partir de 1963 comienza la fabricación de tubería de PVC hasta 8" y en 1984 la fabricación de tuberías de diámetros mayores hasta 630 mm (24").

1.2. Curriculum de obras hechas con tubería DURALÓN

Las principales obras en acueductos en las cuales Tubos Flexibles ha participado suministrando la tubería DURALÓN además de la asesoría en instalación, pruebas y mantenimiento son las que a continuación se resumen.

Cuadro 1.1 Curriculum de obras hechas con tubería DURALÓN

Localidad	Diámetro de la línea principal	Longitud Instalada	Línea
Tijuana, BC	500mm (20")	30 km	Hidráulica
Lázaro Cárdenas, Mich	630mm (24")	4 km	Hidráulica
Loreto, BCS	450mm (18")	30 km	Hidráulica
Guaymas, Son	630mm (24")	22 km	Hidráulica
Valle de Bravo, E Méx	630mm (24")	7 km	Hidráulica
Aguascalientes, Ags	500mm (20")	12 km	Hidráulica
Vizcaíno, BC	315mm (12")	60 km	Hidráulica
Silao, Gto	630mm (24")	20 km	Hidráulica
Huajuapán de León, Oax	315mm (12")	4 km	Hidráulica
Hermosillo, Son	Red (6"-24")	25 km	Hidráulica
Ocozingo, Chis	315mm (12")	12 km	Hidráulica
Mazatlán, Sin	450mm (18")	8 km	Hidráulica
Zacatecas, Zac	400mm (16")	10 km	Hidráulica
Tapachula, Chis	355mm (14")	12 km	Hidráulica
Caballo Blanco, Coah	400mm (16")	30 km	Hidráulica
Pochutla, Oax	355mm (14")	6 km	Hidráulica
Culiacán, Sin	400mm (16")	25 km	Hidráulica
Matehuala, SLP	400mm (16")	15 km	Hidráulica
Parral, Chih	315mm (12")	6 km	Hidráulica
Caborca, Son	500mm (20")	25 km	Hidráulica
Tamazunchale, SLP	315mm (12")	7 km	Hidráulica

1.3. Productos de calidad.

Tubos Flexibles se ha caracterizado por la alta calidad de sus productos y por la permanente búsqueda de la productividad y del servicio. Desde el inicio de sus operaciones en la rama de la

Tubería de PVC rígido ha consolidado su tecnología a través del respaldo otorgado por empresas a nivel mundial.



A large, light gray number '2' is centered on the page, enclosed within a circular border of the same color. The number is stylized with a thick stroke.

Capítulo 2

Procesos de Fabricación de la Tubería de PVC



2. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LA TUBERÍA DE PVC

El presente capítulo describe los procesos de fabricación de la tubería de PVC desde los elementos esenciales para la elaboración del monómero hasta la extrusión e inyección de la tubería y conexiones.

2.1. Breve 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 un 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 veintes se retomaron las investigaciones acerca del PVC principalmente en Alemania, produciendo perfiles de PVC rígido. Para los años treintas 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.

2.2. Obtención del Poli-Cloruro de Vinilo (PVC)

La American Society for Testing and Materials (ASTM) define el término plástico como "Un material que contiene esencialmente moléculas orgánicas de muy alto peso molecular, sólido en su estado final y en alguna etapa de fabricación es formado por flujo a su forma final". (AMITUP)

Para entender mejor el proceso se presentan 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.

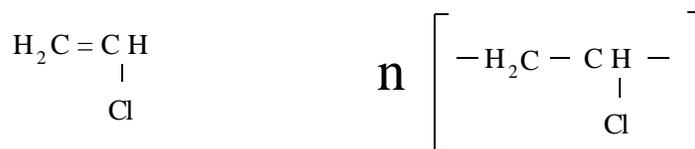
Monómero.- Es una molécula pequeña, simple, de la cual se forma la cadena.

Polimerización.- Es la reacción que une a los monómeros en una gran estructura como un polímero. (32)

El poli (cloruro de vinilo) (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 2.1.



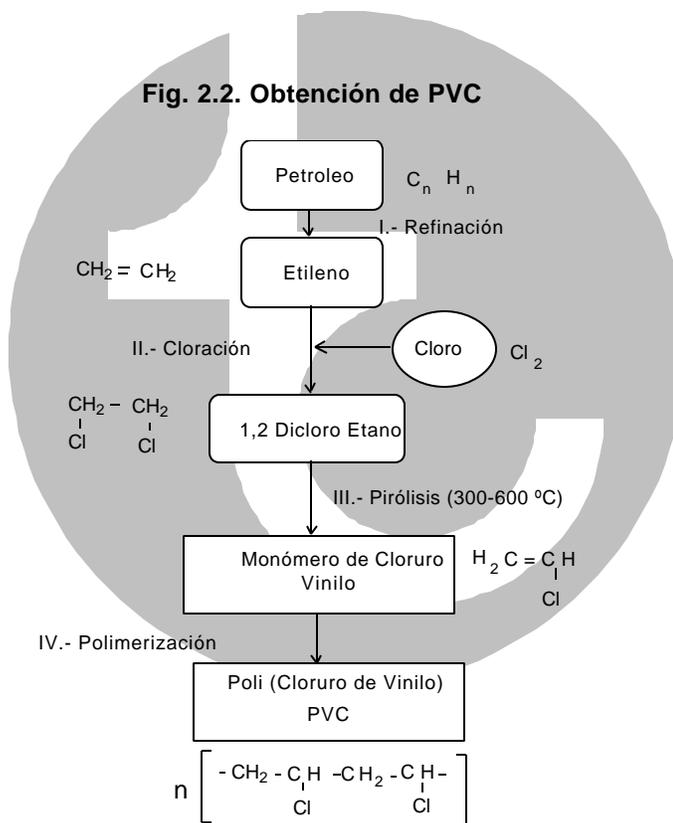
Fig. 2.1. Fórmulas moleculares del VCM y el PVC



a) Monómero de Cloruro de Vinilo (VCM)

b) Polímero de Cloruro de Vinilo
- Poli (cloruro de vinilo) (PVC)

El VCM es un gas incoloro que se almacena a presión (2 - 5 kg/cm²) para convertirlo en líquido y hacerlo más manejable, es volátil, incoloro y dulce al olfato. La figura 2.2. muestra el proceso de obtención del 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. ⁽³²⁾

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. El compuesto de PVC que se usa para producir la tubería es Tipo 1, Grado 1 cuyas características son esfuerzo de diseño de 140 kg/cm² (2,000 PSI) para agua a 23 °C (73.4 °F), designado como PVC 12454-B ⁽³²⁾ (NMX-E-31/1994, ASTM D1784-78). Esta clasificación se describe en la siguiente figura.

Fig. 2.3. Código de Clasificación del Compuesto de PVC Tipo 1, Grado 1 (NMX-E-31/94, ASTM D1784 - 78)

	1 2 4 5 4 - B
Homopolímero de poli (cloruro de vinilo)	_____
Resistencia al impacto (34.7 J/m (3.55 kgf·cm/cm))	_____
Resistencia a la tensión (48.3 MPa (492 kgf/cm ²))	_____
Módulo de elasticidad en tensión (2758 MPa (28,114 kg/cm ²))	_____
Temperatura de deflexión bajo carga (70 °C (158 °F))	_____
Resistencia química	_____
- Inmersión en H ₂ SO ₄ al 93% - 14 días a 55 ± 2 °C Incremento máximo de peso de 5%	
- Inmersión en Aceite ASTM No. 3 - 30 días a 23 °C Incremento máximo de peso de 1%	

Otras características son: Densidad = 1.3 a 1.58 gr/cm³; Flamabilidad = autoextinguible; Dilatación térmica = 8×10^{-4} m/m °C

2.3. Procesos de fabricación de la tubería de PVC.

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

El compuesto de PVC, esta formado en su mayoral 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.

2.3.1. 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 medios 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 la una garganta hacia el barril de extrusión dentro de este el compuesto es recibido por tornillos giratorios.

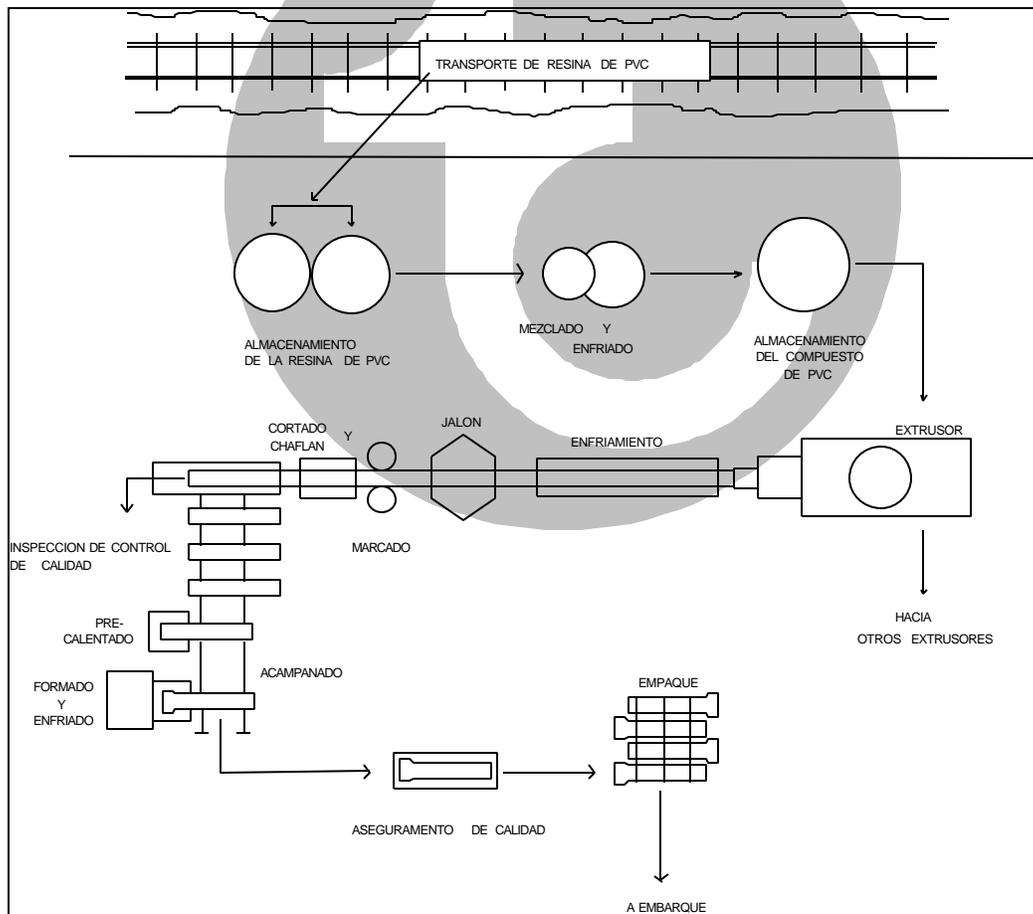
El material es entonces transportado por una acción de bombeo a través de los espacios entre el tornillo y el barril por todo el extrusor, conforme el material avanza a una temperatura y presión perfectamente controlada, este se convierte de un polvo seco en una masa viscosa de plástico. Para

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 $140 - 350 \text{ kg/cm}^2$ ($2,000-5,000 \text{ PSI}$), entonces el plástico caliente es moldeado en un perfil de forma cilíndrica. Al salir de este dado el material está 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. 2.4. Diagrama de flujo del proceso de extrusión del tubo de PVC



2.3.2. Inyección.

La formulación de compuestos de PVC para moldeo 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.

2.4. Aseguramiento de Calidad.

Las pruebas de aseguramiento de calidad se pueden clasificar en tres categorías generales:

- **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 de acuerdo a la norma NMX-E-31-1993-SCFI, para determinar las propiedades mecánicas y químicas de la materia prima con la cual se fabrican los productos finales de PVC.

Prueba Toxicológica (NMX-AA-51-1981), (NMX-E-28-1991)

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) (NMX-E-28-1991)

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 (NMX-E-129-1990)

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 (NMX-E-143-1994 Métrico), (NMX-E-145-1994 Inglés)

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 (NMX-E-21-1993)

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

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

Inspección de Marcación (NMX-E-143-1994 Métrico), (NMX-E-145-1994 Inglés)

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

Prueba de Reventamiento rápido (NMX-E-16-1993)

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 (NMX-E-14-1990)

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 (NMX-E-131-1993)

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

Prueba de Impacto (NMX-E-29-1993)

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 (NMX-E-208-1993)

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 (NMX-E-13-1990)

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.





Capítulo 3

Clasificación de la Tubería de PVC



3.- CLASIFICACIÓN DE LA TUBERÍA HIDRÁULICA DE PVC DURALÓN Y CUMPLIMIENTO CON NORMAS.

La tubería de PVC hidráulica Duralón se puede clasificar según el Sistema de dimensionamiento, la presión de trabajo y el tipo de unión que usa. Las clasificaciones se presentan a continuación haciendo un cuadro sinóptico resumen al final.

3.1. 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.

3.1.1. 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.

3.1.2. 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.

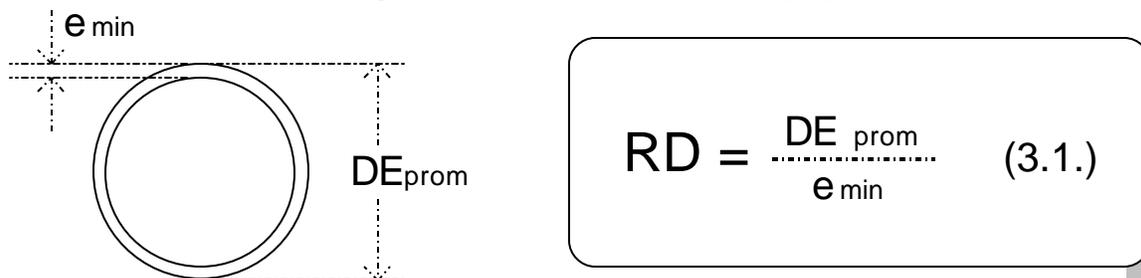
3.2. Clasificación por Clases, RD's y Cédula.

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.

3.2.1. 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. 3.1. Relación de dimensiones (RD)



Esta unidad de clasificación es utilizada en las tuberías de PVC y PE de la Serie Inglesa.

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

Cuadro 3.1. RD's comerciales y su presión recomendable de trabajo

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

3.2.2. 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 3.2. muestra las clases de tubería comerciales en México con su respectiva presión recomendable de trabajo.

Cuadro 3.2. Clases comerciales y su presión recomendable de trabajo

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

3.2.3. Cédulas.

La tubería clasificada por cédulas cumple con las dimensiones de la tubería de fierro 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

Cuadro 3.3. Presión recomendable de trabajo para Tubería Cédula 40

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
-----	------

3.2.4. Clases (C 900).

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

Cuadro 3.4. Presión recomendable de trabajo para tubería C 900

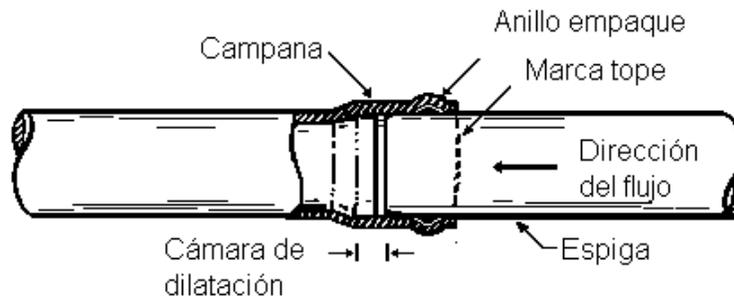
Clase	PT (kg/cm ²)
100	7.0
150	10.5

3.3. 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:

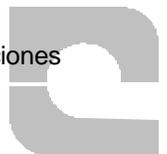
- Unión Anger : Esta unión también es conocida como unión espiga - campana. Los tubos por un lado tienen una campana conformada con un nicho donde se aloja un anillo empaque de material elastomérico el cual hace el sello hermético; por el otro lado tiene la espiga. La unión se muestra en la siguiente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

Fig. 3.2. Unión Anger utilizada en la tubería DURALÓN 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:

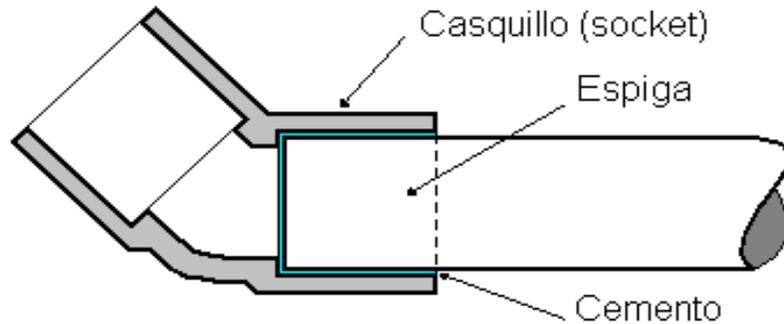
- **Facilidad de instalación:** Ya que para hacer la unión solamente se requiere de la utilización de un lubricante.
- **Unión flexible.-** Permite movimiento relativos entre la espiga y la campana por lo que absorbe asentamientos sufridos en el suelo. Esta ventaja puede utilizarse cuando se tienen cambios 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.

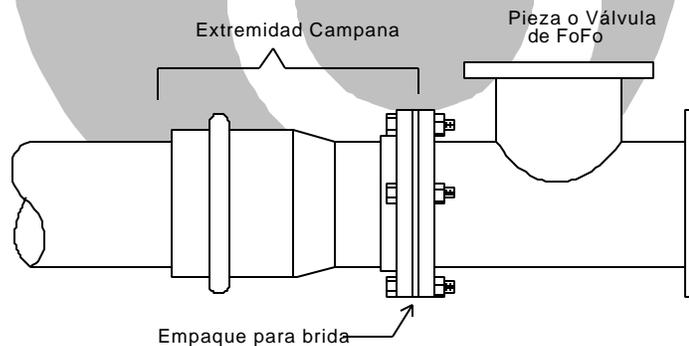
- Unión Cementar : Esta unión se compone de espiga - casquillo (socket). Es una unión monolítica de la tubería con otras tuberías (abocinadas) y/o con conexiones usando una sustancia cementante, cuya reacción química con el PVC provoca que las dos piezas cementadas se "solden" entre sí.

Fig. 3.3. Unión Cementar en un Codo de 45° Cédula 40



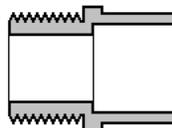
- Unión Bridada : Es utilizada principalmente para hacer uniones con piezas de hierro fundido (FoFo), válvulas de compuerta, medidores de flujo y bombas de agua. Consiste de piezas unidas a bridas de PVC con dimensiones estándares.

Fig. 3.4. Unión Bridada de tubería de PVC



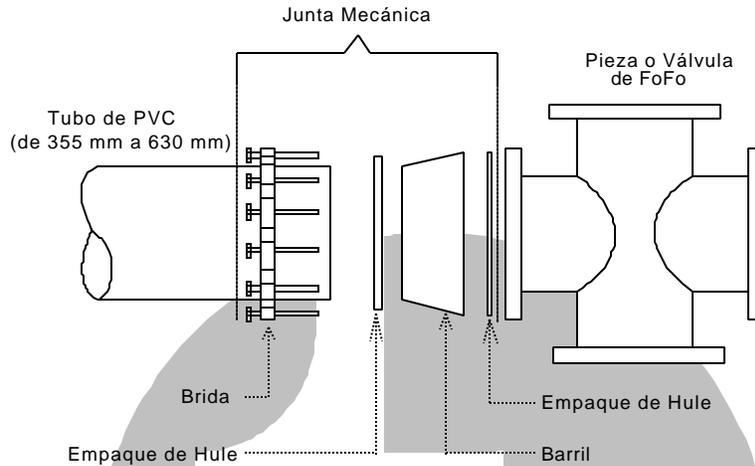
- Unión Roscada : Utilizada para unir PVC con FoGo, válvulas roscadas, válvulas de aire, liberadoras de presión, etc. Las roscas son del tipo NPT (Taper Pipe Thread). Regularmente a la tubería se le cementa un adaptador macho o hembra roscado (los tubos cédula 40, 80 y 120 pueden ser roscados con "tarraja"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

Fig. 3.5. Adaptador macho mostrando la rosca NPT



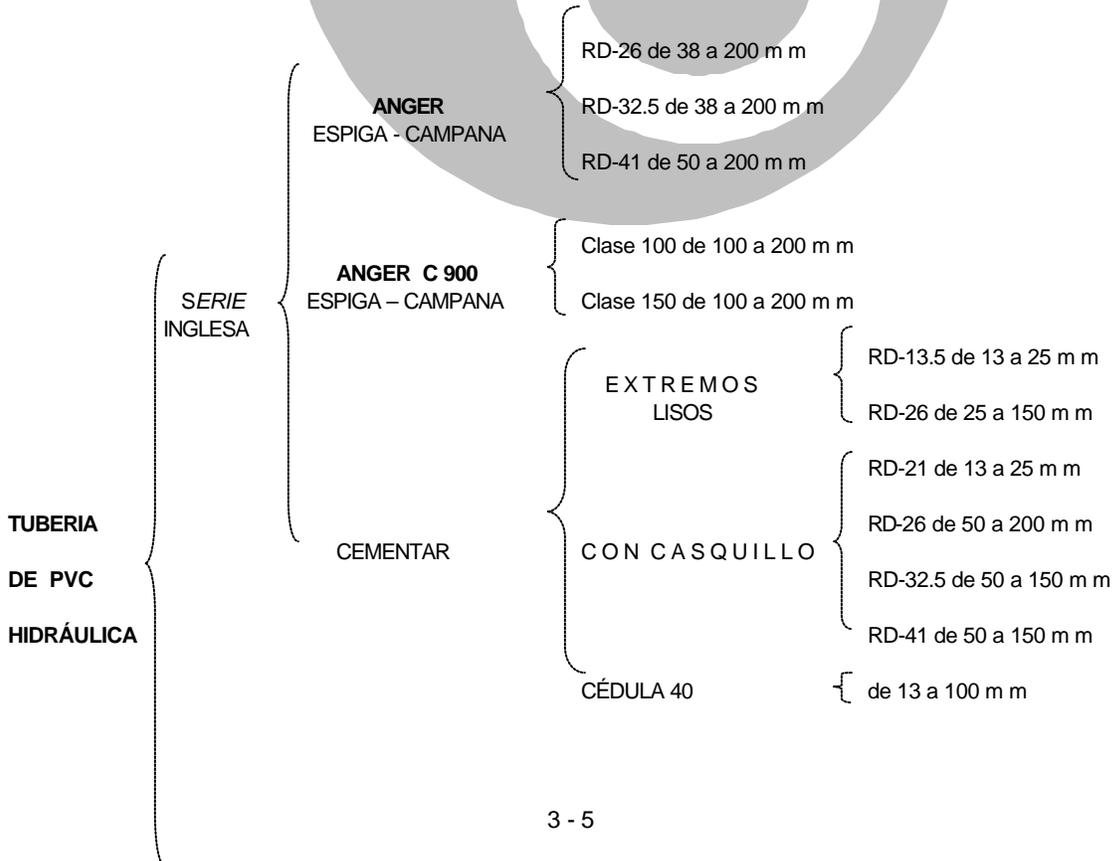
- Otras Uniones : Para tuberías de PVC cuyo diámetro vaya desde 355 mm (14") hasta 630 mm (24"), las uniones con piezas de FoFo se hacen mediante juntas mecánicas también de FoFo. La siguiente figura muestra la unión con junta mecánica (Aspectos de instalación verlos en el capítulo correspondiente).

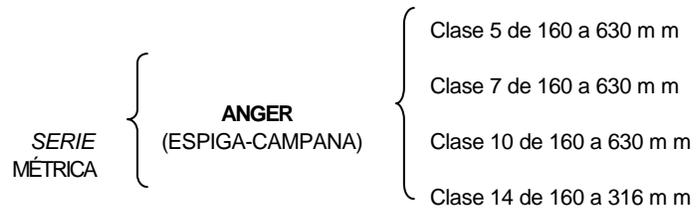
Fig. 3.6. Unión de Tubería de PVC a piezas de FoFo usando Junta Mecánica



3.4. Resumen de los diferentes tipos de tubería.

A continuación se presenta el resumen de la tubería hidráulica DURALÓN.







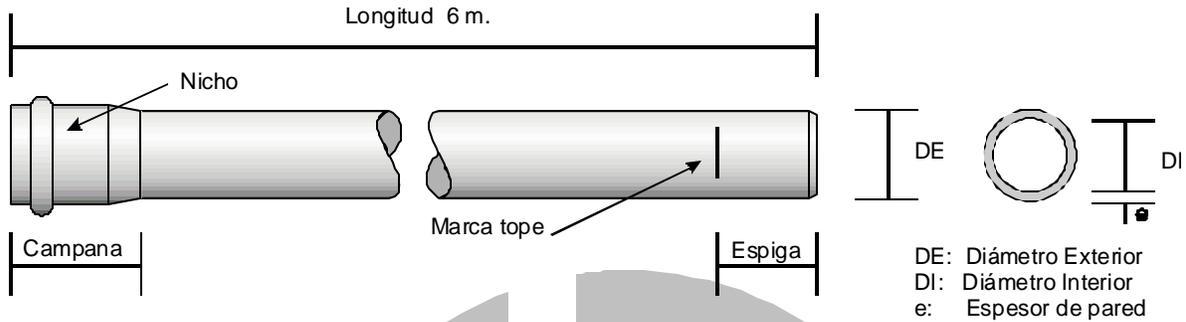
Capítulo 4
Línea de Productos



4. CATALOGO DE PRODUCTOS

4.1. Tubería de PVC DURALÓN Hidráulico Anger Serie Inglesa. (HASI)

Fig. 4.1. Tubo de PVC DURALÓN HASI.



Cuadro 4.1. Especificaciones del tubo DURALÓN HASI

DIAMETRO NOMINAL (DN)		DIAMETRO EXTERNO (DE)		ESPESOR DE PARED (e)		DIAMETRO INTERNO (DI)
(mm)	(pulg)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Promedio (mm)

RD - 41

50	2	60.1	60.5	1.5	2.0	56.80
60	2.5	72.8	73.2	1.8	2.3	68.90
75	3	88.7	89.1	2.2	2.7	84.00
100	4	114.1	114.5	2.8	3.3	108.20
150	6	168.0	168.6	4.1	4.6	159.60
200	8	218.7	219.5	5.3	5.9	207.90

RD - 32.5

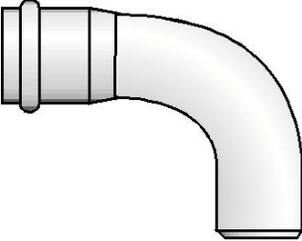
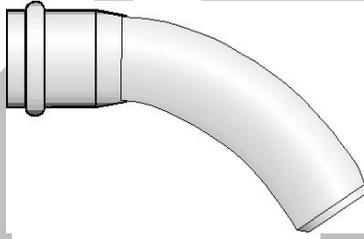
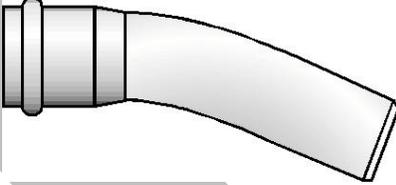
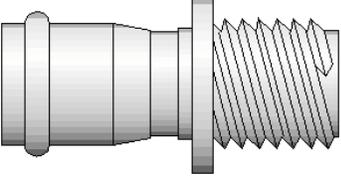
38	1.5	48.1	48.5	1.5	2.0	44.70
50	2	60.1	60.5	1.8	2.3	56.20
60	2.5	72.8	73.2	2.2	2.7	68.10
75	3	88.7	89.1	2.7	3.2	83.00
100	4	114.1	114.5	3.5	4.0	106.80
150	6	168.0	168.6	5.1	5.7	157.50
200	8	218.7	219.5	6.7	7.5	204.90

RD - 26.0

38	1.5	48.1	48.5	1.9	2.4	43.90
50	2	60.1	60.5	2.3	2.8	55.20
60	2.5	72.8	73.2	2.8	3.3	66.90
75	3	88.7	89.1	3.4	3.9	81.60
100	4	114.1	114.5	4.4	4.9	105.00
150	6	168.0	168.6	6.5	7.3	154.50
200	8	218.7	219.5	8.4	9.4	201.30



4.2. Conexiones de la línea DURALON HASI.

FIGURA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MEDIDA mm
4.2.		102069 102070 102071 102072 102074 102076 102079	38 50 60 75 100 150 200
CODO DE 90°			
4.3.		102058 102059 102060 102061 102063 102065 102068	38 50 60 75 100 150 200
CODO DE 45°			
4.4.		102047 102048 102049 102050 102052 102054 102055	38 50 60 75 100 150 200
CODO 22°			
4.5.		102127 102128 102129 102130 102132 102136	38 50 60 75 100 150
ADAPTADOR CAMPANA			



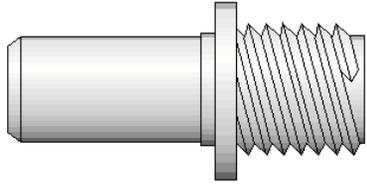
<p>4.6.</p>		<p>102138 102139 102140 102141 102143 102147</p>	<p>38 50 60 75 100 150</p>
<p>ADAPTADOR ESPIGA</p>			



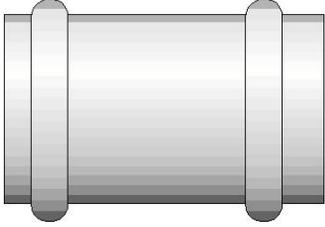
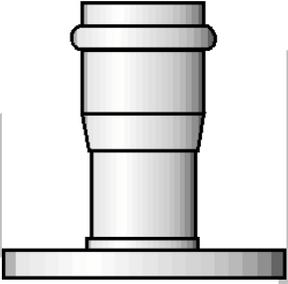
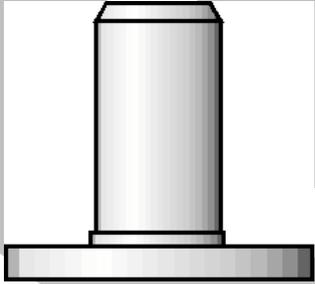
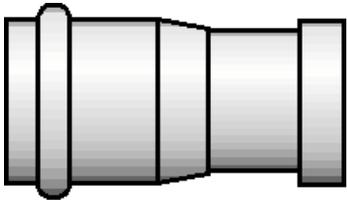
FIGURA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MEDIDA mm
4.7.		102091 102092 102093 102094 102096 102098 102415	38 50 60 75 100 150 200
COPLE REPARACIÓN			
4.8.		102103 102104 102105 102106 102108 102110 102113	38 50 60 75 100 150 200
EXTREMIDAD CAMPANA			
4.9.		102115 102116 102117 102118 102120 102122 102125	38 50 60 75 100 150 200
EXTREMIDAD ESPIGA			
4.10.		102149 102150 102151 102152 102154 102156 102159	38 50 60 75 100 150 200
TAPÓN CAMPANA			



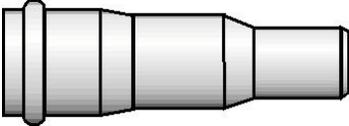
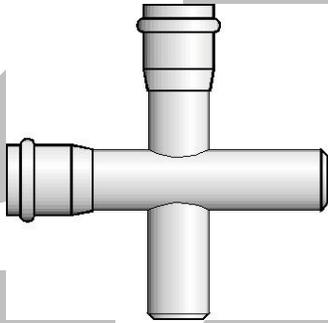
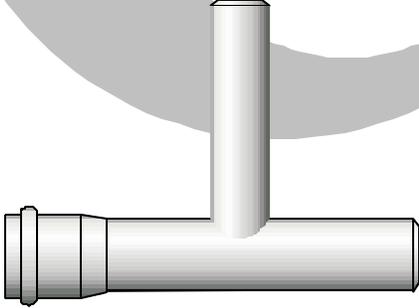
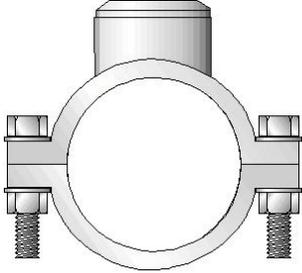
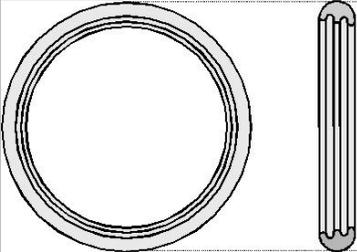
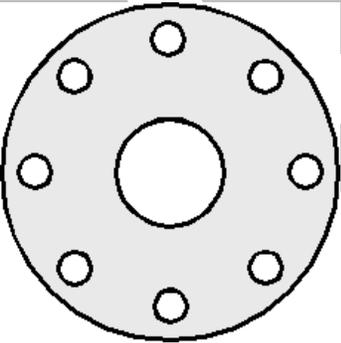
FIGURA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MEDIDA mm
4.11		102173	50 x 38
		102174	60 x 50
		102176	75 x 50
		102175	75 x 60
		102182	100 x 60
		102181	100 x 75
		102186	150 x 100
		191143	200 x 100
		191144	200 x 150
		REDUCCIÓN CAMPANA	
4.12		102001	38 x 38
		102002	50 x 50
		102004	60 x 60
		102006	75 x 75
		102013	100 x 100
		191090	150 x 150
		191096	200 x 200
		CRUZ	
4.13.		102024	38 x 38
		102026	50 x 38
		102025	50 x 50
		102028	60 x 50
		102027	60 x 60
		102031	75 x 50
		102030	75 x 60
		102029	75 x 75
		102038	100 x 75
		102036	100 x 100
		102043	150 x 100
		191020	150 x 150
		191040	200 x 150
		191019	200 x 200
		TEE	

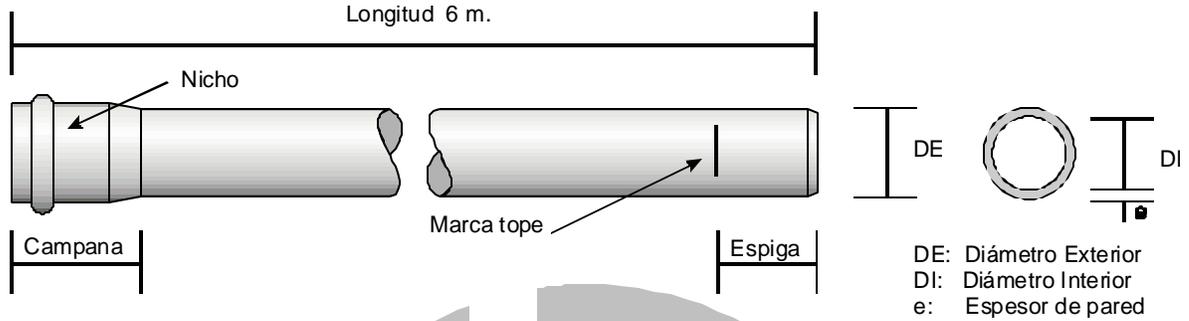


FIGURA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MEDIDA mm
4.14.		112170 112171 112172 112173 112175 112177 112188 112181 112182 112183 112185 112187	38 x 13 50 x 13 60 x 13 75 x 13 100 x 13 150 x 13 38 x 19 50 x 19 60 x 19 75 x 19 100 x 19 150 x 19
	ABRAZADERA C/S ROSC. NPT		
4.15.		102252 102253 102254 102255 102257 102259 102260	38 50 60 75 100 150 200
	ANILLO EMPAQUE		
4.16.		102295 102296 102297 102298 102300 102302 102303	38 50 60 75 100 150 200
	EMPAQUE PARA BRIDA		



4.3. Tubería de PVC DURALÓN Hidráulico Anger Serie Métrica. (HASM)

Fig. 4.17. Tubería de PVC (HASM).



Cuadro 4.2 Especificaciones del tubo DURALÓN HASM.

DIAMETRO NOMINAL (DN)		DIAMETRO EXTERNO (DE)		ESPESOR DE PARED (e)		DIAMETRO INTERNO (DI)
(mm)	(pulg)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Promedio (mm)

CLASE - 5

160	6	160.0	160.5	2.8	3.3	154.25
200	8	200.0	200.6	3.5	4.1	192.70
250	10	250.0	250.8	4.4	5.0	241.00
315	12	315.0	315.9	5.6	6.4	303.45
355	14	355.0	356.1	6.2	7.0	342.35
400	16	400.0	401.2	7.0	7.9	385.70
450	18	450.0	451.4	7.9	8.9	433.90
500	20	500.0	501.5	8.8	9.9	482.05
630	24	630.0	631.9	11.1	12.4	607.45

CLASE - 7

160	6	160	160.5	3.9	4.5	152.10
200	8	200	200.6	4.9	5.6	189.80
250	10	250	250.8	6.1	6.9	237.40
315	12	315	315.9	7.7	8.7	299.05
355	14	355	356.1	8.7	9.8	337.05
400	16	400	401.2	9.8	11.0	379.80
450	18	450	451.4	11.0	12.3	427.40
500	20	500	501.5	12.2	13.6	474.95
630	24	630	631.9	15.4	17.1	598.45

Cuadro 4.2 Especificaciones del tubo DURALÓN HASM.

DIAMETRO NOMINAL (DN)		DIAMETRO EXTERNO (DE)		ESPESOR DE PARED (e)		DIAMETRO INTERNO (DI)
(mm)	(pulg)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Promedio (mm)

CLASE - 10

160	6	160	160.5	5.5	6.3	148.45
200	8	200	200.6	6.9	7.8	185.60
250	10	250	250.8	8.6	9.7	232.10
315	12	315	315.9	10.9	12.2	292.35
355	14	355	356.1	12.2	13.6	329.75
400	16	400	401.2	13.8	15.4	371.40
450	18	450	451.4	15.5	17.3	417.90
500	20	500	501.5	17.2	19.1	464.45
630	24	630	631.9	21.7	24.1	585.15

CLASE - 14

160	6	160	160.5	7.6	8.6	144.05
200	8	200	200.6	9.5	10.7	180.10
250	10	250	250.8	11.9	13.3	225.20
315	12	315	315.9	15.0	16.8	283.65
355	14	355	356.1	16.9	18.8	319.85
400	16	400	401.2	19.0	21.1	360.50
450	18	450	451.4	21.4	23.7	405.60
500	20	500	501.5	23.8	26.4	450.55
630	24	630	631.9	30.0	33.2	567.75

4.4. Conexiones de la línea DURALÓN HASM.

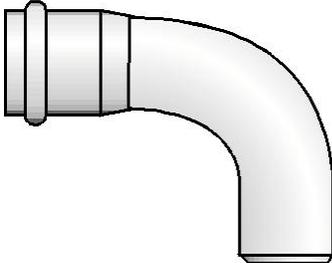
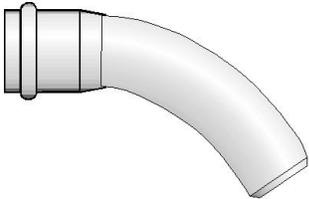
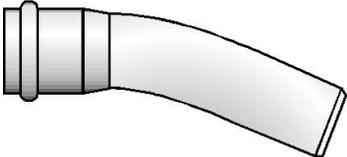
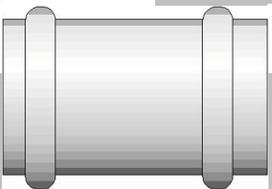
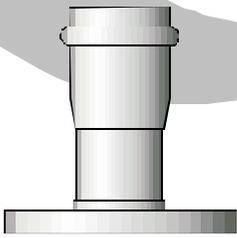
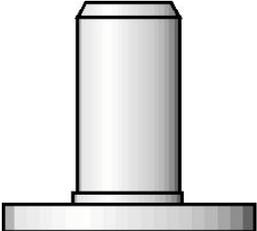
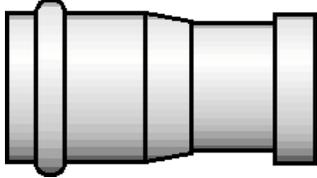
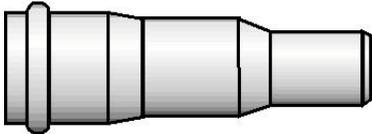
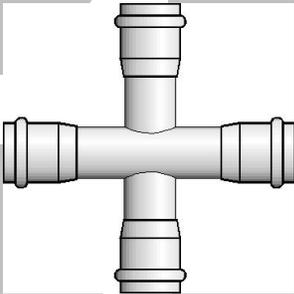
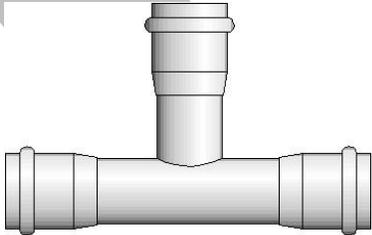
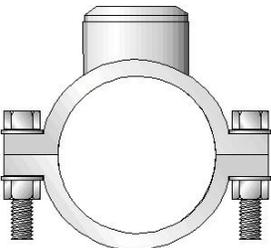
FIGURA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MEDIDA mm
4.18.		102615 102616 102617 102619	160 200 250 315
	CODO DE 90°		

FIGURA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MEDIDA mm
4.19.		102585 102586 102587 102589	160 200 250 315
	CODO DE 45°		
4.20.		102695 102696 102697 102698	160 200 250 315
	CODO 22°		
4.21.		102680 102681 102682 102683 102672 102684 102685 102686 102687	160 200 250 315 355 400 450 500 630
	COPLER REPARACIÓN		
4.22.		102660 102661 102662 102663	160 200 250 315
	EXTREMIDAD CAMPANA		
4.23.		102640 102641 102642 102643	160 200 250 315

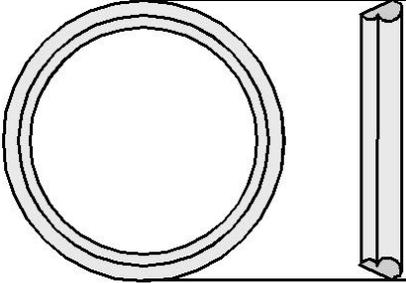
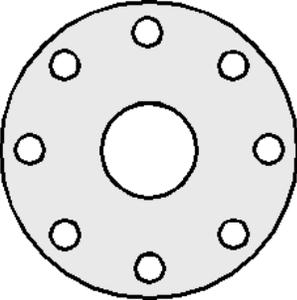
	EXTREMIDAD ESPIGA		
--	--------------------------	--	--



FIGURA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MEDIDA mm
4.24.		102521 102522 102523 102525	160 200 250 315
	TAPÓN CAMPANA		
4.25.		102721 102722 102725 102728 102729	200 x 160 250 x 160 250 x 200 315 x 200 315 x 250
	REDUCCIÓN CAMPANA		
4.26.		102477 102479 102485 102462	160 x 160 200 x 200 250 x 250 315 x 315
	CRUZ		
4.27.		102561 102564 102563 102567 102568 102576 102569	160 x 160 200 x 160 200 x 200 250 x 200 250 x 250 315 x 250 315 x 315
	TEE		
4.28.		102825	160 x 13

	ABRAZADERA C/S ROSC. NPT		
--	--------------------------	--	--

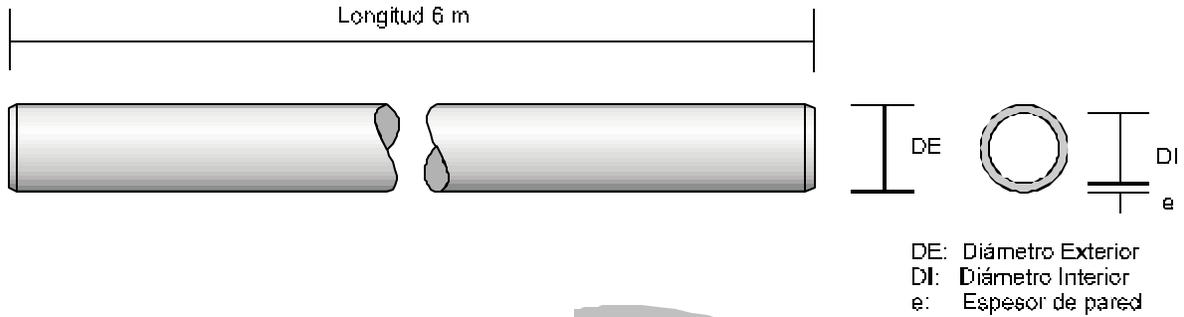


FIGURA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MEDIDA mm
4.29.		102501 102502 102503 102504	160 200 250 315
ANILLO EMPAQUE			
4.30.		102839 102840 102841 102842	160 200 250 315
EMPAQUE PARA BRIDA			



4.5. Tubería de PVC DURALÓN Hidráulico Cementar Serie Inglesa. (HCSI) y Cédula 40

Fig. 4.31. Tubo de PVC DURALÓN HCSI. Extremos Lisos



Cuadro 4.3. Especificaciones del tubo DURALÓN HCSI Extremos Lisos

DIAMETRO NOMINAL (DN)		DIAMETRO EXTERNO (DE)		ESPESOR DE PARED (e)		DIAMETRO INTERNO (DI)
(mm)	(pulg)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Promedio (mm)

RD - 26

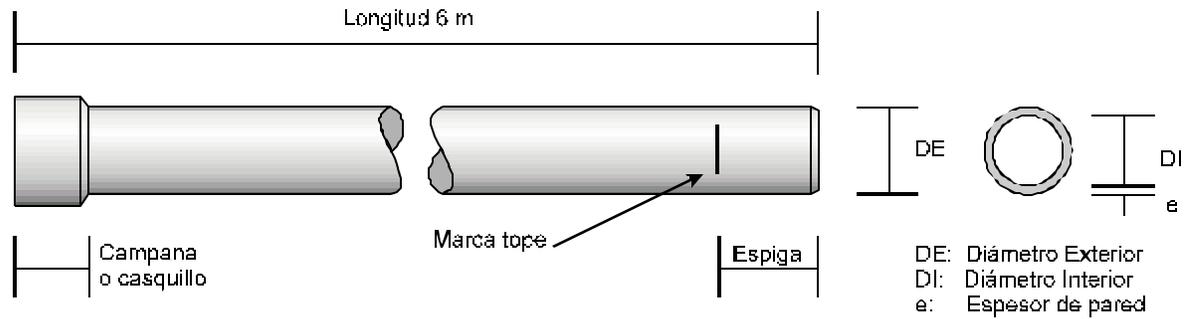
25	1	33.3	33.5	1.5	2.0	29.90
32	1.25	42.1	42.3	1.6	2.1	38.50
38	1.5	48.1	48.5	1.9	2.4	44.00
50	2	60.1	60.5	2.3	2.8	55.20
60	2.5	72.8	73.2	2.8	3.3	66.90
75	3	88.7	89.1	3.4	3.9	81.60
100	4	114.1	114.5	4.4	4.9	105.00
150	6	168.0	168.6	6.5	7.3	154.50

RD - 13.5

13	0.5	21.2	21.4	1.6	2.1	17.60
19	0.75	26.6	26.8	2.0	2.5	22.20
25	1.0	33.3	33.5	2.4	2.9	28.10



Fig. 4.32. Tubo de PVC DURALÓN HCSI. con Campana (casquillo).



Cuadro 4.4. Especificaciones del tubo DURALÓN HCSI con Campana (casquillo)

RD - 41

50	2	60.1	60.5	1.5	2.0	56.80
60	2.5	72.8	73.2	1.8	2.3	68.90
75	3	88.7	89.1	2.2	2.7	84.00
100	4	114.1	114.5	2.8	3.3	108.20
150	6	168.0	168.6	4.1	4.6	159.60

RD - 32.5

50	2	60.1	60.5	1.8	2.3	56.20
60	2.5	72.8	73.2	2.2	2.7	68.10
75	3	88.7	89.1	2.7	3.2	83.00
100	4	114.1	114.5	3.5	4.0	106.80
150	6	168.0	168.6	5.1	5.7	157.50

RD - 26.0

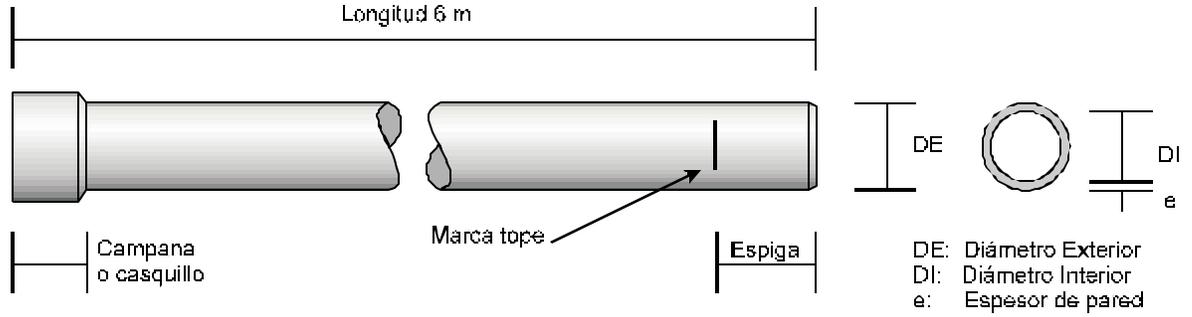
50	2	60.1	60.5	2.3	2.8	55.20
60	2.5	72.8	73.2	2.8	3.3	66.90
75	3	88.7	89.1	3.4	3.9	81.60
100	4	114.1	114.5	4.4	4.9	105.00
150	6	168.0	168.6	6.5	7.3	154.50
200	8	218.7	219.5	8.4	9.4	201.30

RD - 21

13	0.5	21.2	21.4	1.5	2.0	17.80
19	0.75	26.6	26.8	1.5	2.0	23.20
25	1.0	33.3	33.5	1.6	2.1	29.70



Fig. 4.33. Tubo de PVC DURALÓN Hidráulico Cementar Cédula 40



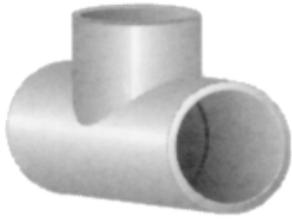
Cuadro 4.5. Especificaciones del tubo DURALÓN Hidráulico Cementar Cédula 40

DIAMETRO NOMINAL (DN)		DIAMETRO EXTERNO (DE)		ESPESOR DE PARED (e)		DIAMETRO INTERNO (DI)
(mm)	(pulg)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Promedio (mm)
Cédula - 40						
13	0.5	21.2	21.4	2.77	3.28	15.25
19	0.75	26.6	26.8	2.87	3.38	20.45
25	1.0	33.3	33.5	3.38	3.89	26.13
32	1.25	42.1	42.3	3.56	4.07	34.57
38	1.5	48.1	48.5	3.68	4.19	40.43
50	2	60.1	60.5	3.91	4.42	51.97
75	3	88.7	89.1	5.49	6.15	77.26
100	4	114.1	114.5	6.02	6.73	101.55

4.6. Conexiones de la línea DURALON Hidráulica Cementar Cédula 40.

FIGURA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MEDIDA mm
--------	-------------	--------	-----------



4.34.		205013 205014 205015 205016 205017 205018 205019 205020 205021	13 19 25 32 38 50 60 75 100
	CODO DE 90°		
FIGURA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MEDIDA mm
4.35.		205001 205002 205003 205004 205005 205006 205007 205008 205009	13 19 25 32 38 50 60 75 100
	CODO DE 45°		
4.36.		205025 205026 205027 205028 205029 205030 205031 205032 205033	13 19 25 32 38 50 60 75 100
	TE		
4.37.		205147 205148 205149 205150 205151	38 50 60 75 100
	CRUZ		



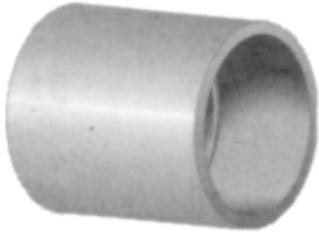
<p>4.38.</p>		<p>205037 205038 205039 205040 205041 205042 205043 205044 205045 205046 205047</p>	<p>13 19 25 32 38 50 60 75 100 150 200</p>
<p>COPLE</p>			



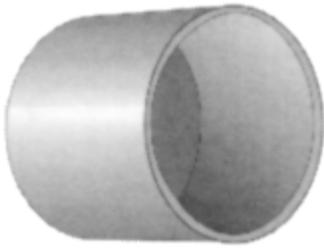
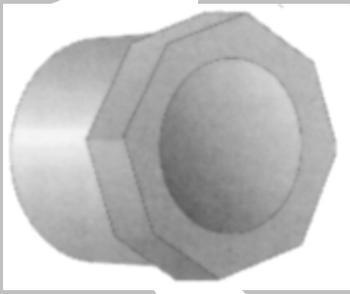
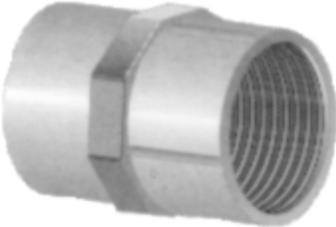
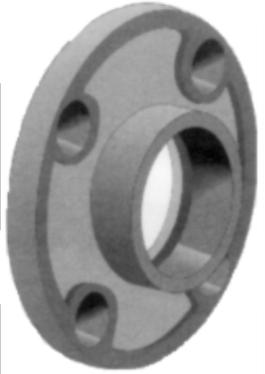
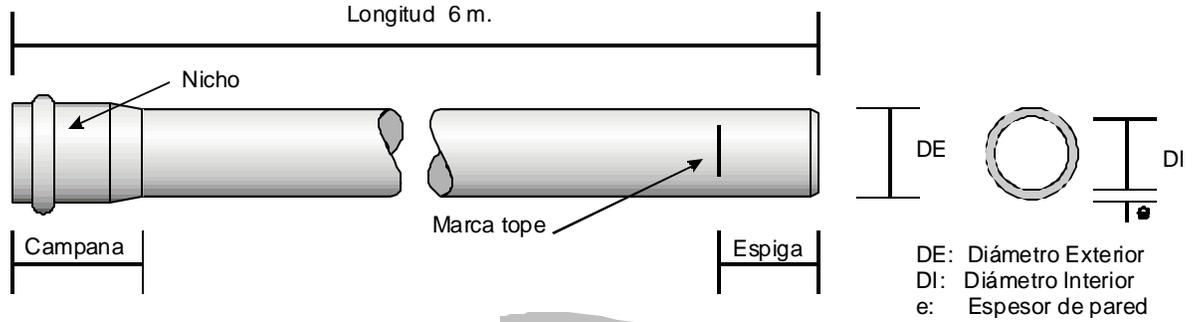
FIGURA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MEDIDA mm
4.39.		205135	13
		205136	19
		205137	25
		205138	32
		205139	38
		205140	50
		205141	60
		205142	75
		205143	100
		205144	150
TAPA			
4.40		205073	19 X 13
		205079	25 X 13
		205080	25 X 19
		205085	32 X 13
		205086	32 X 19
		205087	32 X 25
		205091	38 X 13
		205092	38 X 19
		205093	38 X 25
		205094	38 X 32
		205099	50 X 13
		205100	50 X 19
		205101	50 X 25
		205102	50 X 32
		205103	50 X 38
		205105	60 X 50
		205111	75 X 50
		205112	75 X 60
		205117	100 X 50
205118	100 X 60		
205119	100 X 75		
REDUCCION BUSHING			
4.41		205061	13
		205062	19
		205063	25
		205064	32
		205065	38
		205066	50
		205067	60
		205068	75
		205069	100
ADAPTADOR MACHO			

FIGURA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MEDIDA mm
4.42.		102149 102150 102151 102152 102154 102156 102159	38 50 60 75 100 150 200
	ADAPTADOR HEMBRA		
4.43.		302100 302101 302102 302103 302104 302105 302106 302107 302108 302109 302110	13 19 25 32 38 50 60 75 100 150 200
	BRIDA INDUSTRIAL		



4.7. Tubería de PVC DURALÓN Hidráulico Anger C 900

Fig. 4.44. Tubo de PVC DURALÓN Hidráulico Anger C 900.



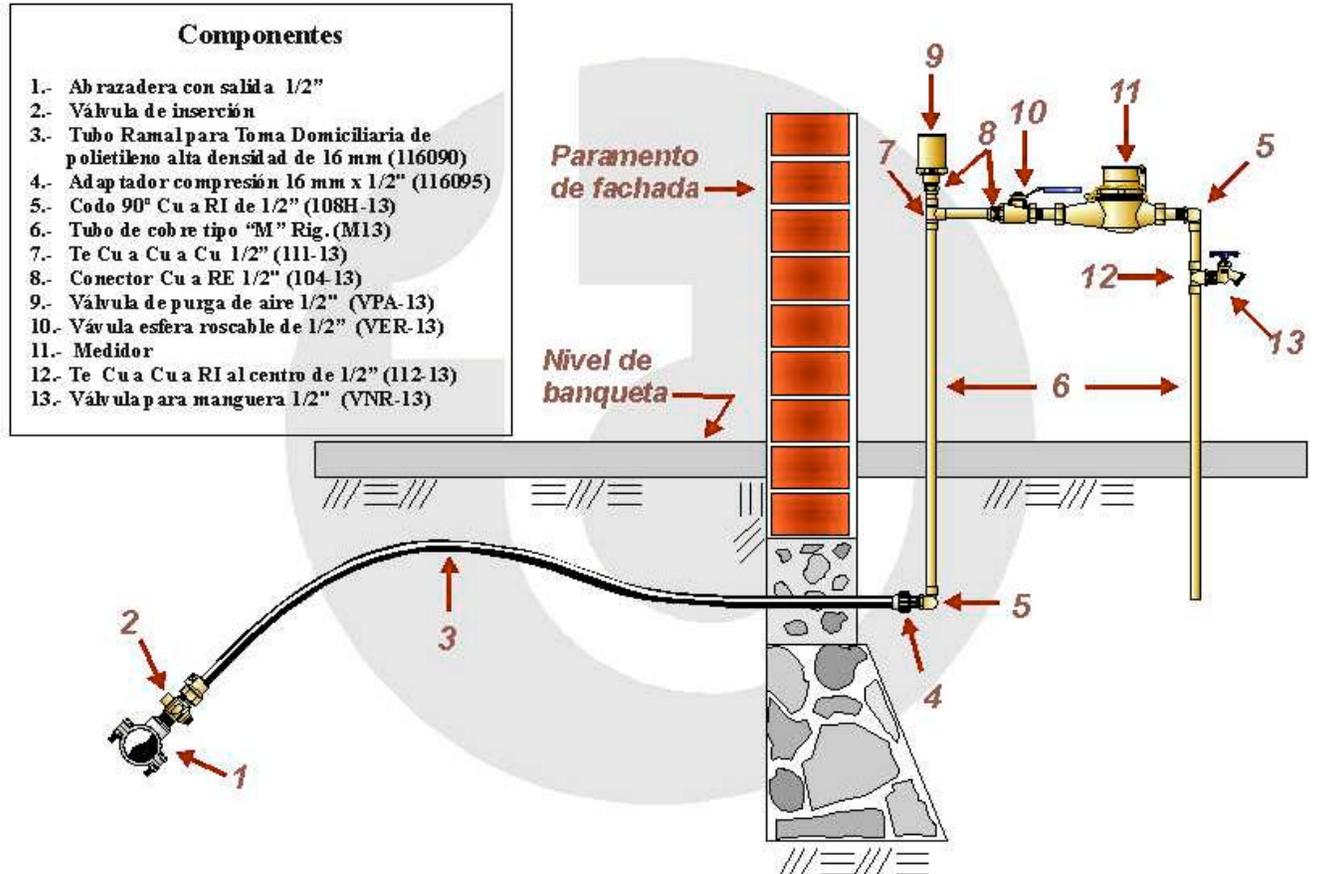
Cuadro 4.6. Especificaciones del tubo DURALÓN Hidráulico Anger C 900

DIAMETRO NOMINAL (DN)		DIAMETRO EXTERNO (DE)		ESPESOR DE PARED (e)		DIAMETRO INTERNO (DI)
(mm)	(pulg)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Promedio (mm)
Clase 100						
100	4	121.9	122.1	4.9	5.5	111.60
150	6	175.3	175.6	7.0	7.9	160.55
200	8	229.9	230.3	9.2	10.3	210.60
Clase 150						
100	4	121.9	122.1	6.8	7.6	107.60
150	6	175.3	175.6	9.7	10.9	154.85
200	8	229.9	230.3	12.8	14.3	203.00



4.8. Toma domiciliaria. (TD)

Fig. 4.45. Toma domiciliaria. (TD)



Cuadro 4.7. Especificaciones del Tubo Ramal Toma Domiciliaria PEAD. (TRTD)

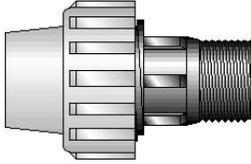
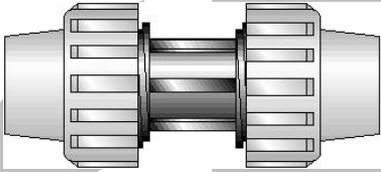
DIAMETRO NOMINAL (DN)	DIAMETRO EXTERNO (DE)		ESPESOR DE PARED (e)		DIAMETRO INTERNO (DI)
	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	
(mm) (pulg)					Promedio (mm)

10 kg/cm²

16	0.50	16.0	16.3	2.0	2.3	11.75
20	0.75	20.0	20.4	2.3	2.7	15.80



4.9. Conexiones de la línea TD.

FIGURA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MEDIDA mm
4.46.		116095 116096	16 x13 20 x19
	ADAPTADOR COMPRESIÓN PP		
4.47.		116097 116098	16 20
	COPLÉ COMPRESIÓN PP		

PP: Polipropileno



A large, light gray number '5' is centered on the page, enclosed within a light gray circle. The number and circle are semi-transparent, allowing the text behind them to be visible.

Capítulo 5

Elaboración de Proyectos



5. ELABORACIÓN DE PROYECTOS

5.1. 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.

CUADRO 5.1. Ventajas y desventajas de las fuentes de abastecimiento de agua potable superficiales y subterráneas

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	

- **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

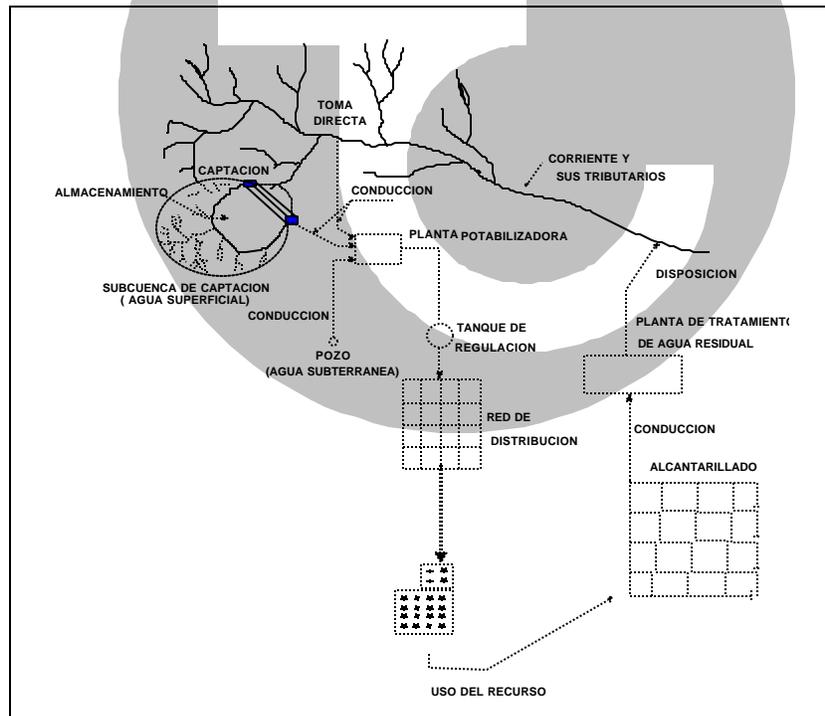
· **Regularización**

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**

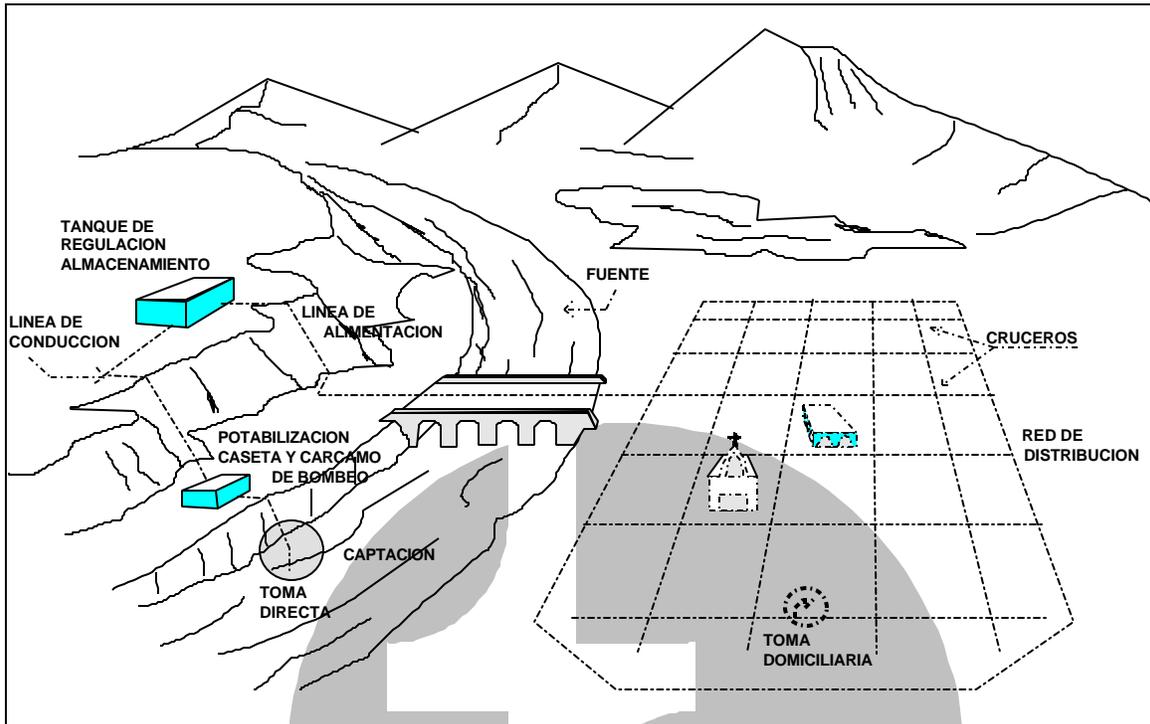
Después de la regulación, el sistema de distribución debe entregar el agua a los consumidores. Normalmente se compone de bombas, tuberías, válvulas de regulación, tomas domiciliarias y medidores.⁽³⁾

Fig. 5.1. Configuración general de un sistema hidráulico urbano



Valdez 1991



Fig. 5.2. Esquema general de un sistema de abastecimiento de agua potable

Valdez 1991

5.2. Datos básicos de proyecto

5.2.1. 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. ⁽⁴⁾

Cuadro 5.2. Período de diseño recomendables

ELEMENTO	PERIODO DE DISEÑO (AÑO)
Fuente Pozo Embalse (presa)	5 hasta 20
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

* En el caso de distribución secundaria y red de atarjeas, por condiciones de construcción difícilmente se podrá diferir la inversión.

Cuadro 5.3. Vida útil de los elementos del Sistema de Agua Potable

ELEMENTO	VIDA UTIL (años)
Pozo Obra civil Obra electromecánica	de 10 a 30 de 8 a 20
Línea de conducción	de 20 a 40
Planta potabilizadora Obra civil Obra electromecánica	40 de 15 a 20
Estación de bombeo Obra civil Obra electromecánica	40 de 8 a 20
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 Obra civil Obra electromecánica	40 de 15 a 20

5.2.2. 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:

$$\frac{dp}{dt} = Ka \dots\dots\dots dp = Kad t \quad (5.1)$$

Integrando se obtiene.... $P_2 - P_1 = Ka (t_2 - t_1) \quad (5.2)$

para un tiempo T $P = P_2 + Ka (T - t_2) \quad (5.3)$

Ejemplo 5.1.

Calcular la población para el año 2010 con el modelo aritmético, en base a los datos censales siguientes:

AÑO	POBLACION
1970	19 290
1980	22 762
1990	27 314

$$Ka_{(80-90)} = \frac{P_2 - P_1}{t_1 - t_2} = \frac{27314 - 22762}{1990 - 1980} = 455.2$$

$$P_{2010} = P_{1990} + Ka_{(80-90)} (2010 - 1990) = 27314 + 455.2(2010 - 1990) = 36418$$



Método Geométrico

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

$$\frac{dp}{dt} = K_G P \dots\dots\dots \frac{dp}{P} = K_G dt \quad (5.4)$$

Integrando se obtiene.... $LnP_2 - LnP_1 = K_G(t_2 - t_1) \quad (5.5)$

para un tiempo T $LnP = LnP_2 + K_G(T - t_2) \quad (5.6)$

la ecuación 5.6 se puede expresar como $LnP = LnP_0 + K_G t \quad (5.7)$

aplicando antilogaritmos cuando P₀ es la población para t = 0 $P = P_0 e^{K_G t} \quad (5.8)$

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

$$P = P_0(1+i)^t \quad (5.9)$$

$$i = \sqrt[t]{\frac{P}{P_0}} - 1 \quad (5.10)$$

Ejemplo 5.2.

Calcular la población para el año 2010 con el modelo geométrico, en base a los datos censales siguientes:

AÑO	POBLACION
1970	19 290
1980	22 762
1990	27 314

$$K_{a(80-90)} = \frac{P_2 - P_1}{t_1 - t_2} = \frac{Ln 27314 - Ln 22762}{1990 - 1980} = 0.01823$$

$$P_{2010} = LnP_{1990} + K_{G(80-90)}(2010 - 1990) = Ln 27314 + 0.01823(2010 - 1990) = 10.57975$$

$$P_{2010} = e^{10.57975} = 39330$$

5.2.3. Demanda

CONSUMO



El consumo de liquido 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. ⁽⁴⁾
- Los climas extremosos 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

5.2.4. 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.

Cuadro 5.4. Clasificación de climas por su temperatura

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 5.5. Dotación de agua potable por clima y no. de habitantes

DOTACION DE AGUA POTABLE (l/hab/día)			
Numero de Habitantes	C L I M A		
	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

CNA 1992

5.2.5. 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

$$CV_d = 1.2 \text{ a } 1.5 \quad \text{normalmente se utiliza} \quad 1.2$$

- Coeficiente de Variación Horaria

$$CV_h = 1.5 \text{ a } 2.0 \quad \text{normalmente se utiliza} \quad 1.5$$

5.2.6. 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:

Q_{MD} = Gasto máximo diario, en lps
 CV_d = 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:

Q_{MH} = Gasto máximo horario, en lps

CV_d = Coeficiente de variación diaria

Q_{MD} = Gasto máximo diario, en lps

5.2.7. 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.

Cuadro 5.6. Velocidades permisibles de conducción para tubería de diferentes materiales.

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	3.5
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	0.3	5.0

CNA 1992

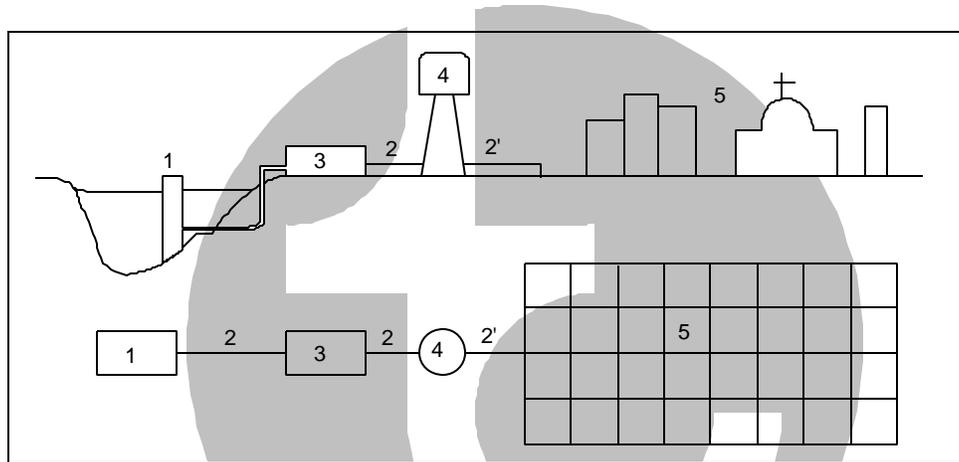
5.2.8. Regulación

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.

En base a un estudio realizado por C.N.A. a través de I.M.T.A. se presenta una tabla de variaciones de consumo expresadas en porcentaje del gasto máximo horario.

Fig. 5.3. Gastos de diseño de los elementos de un sistema de agua potable



ELEMENTO	GASTO DE DISEÑO
1. Fuente y obra de captación	Q_{MD}
2. Conducción	Q_{MD}
2'. Conducción (alimentación a la red)	Q_{MH}
3. Potabilizadora	*
4. Tanque de regulación	Q_{MD}
5. Red de distribución	Q_{MH}
Donde:	
Q_m = Gasto medio	Q_{MD} = Gasto máximo diario
Q_{MH} = Gasto máximo horario	Q_M = Gasto máximo
* Q_m o Q_{MD} En proceso	
Q_{MD} En funcionamiento hidráulico	



Cuadro 5.7. Variación horaria del consumo en varias ciudades

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

* Cantidades en porcentaje del gasto máximo diario.

CNA 1992

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.

Cuadro 5.8. Cálculo de la capacidad de regulación en poblaciones pequeñas

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

En base a estos datos se calcula la capacidad del tanque, de la siguiente forma:

$$C = \frac{325 + 80}{100} \times \frac{3600}{1000} \times Q_{MD} = 14.58 Q_{MD}$$

En donde:

C = Capacidad del tanque en m³

Q_{MD} = Gasto máximo diario, en lps

Variando el tiempo de bombeo a 20 y 16 horas por día, con la misma variación horaria de la demanda, los tiempos más convenientes son de 4 a 24 hrs y de 6 a 22 hrs. Al analizar el coeficiente de regulación, se obtuvieron los siguientes resultados.

TIEMPO DE BOMBEO (horas)	SUMINISTRO AL TANQUE (horas)	GASTOS DE BOMBEO (lps)	CAPACIDAD DE REGULACIÓN (m ³)
De 0 a 24	24	Q _{MD}	C = 14.58 Q _{MD}
De 4 a 24	20	1.2 Q _{MD}	C = 7.20 Q _{MD}
De 6 a 22	16	1.5 Q _{MD}	C = 15.30 Q _{MD}

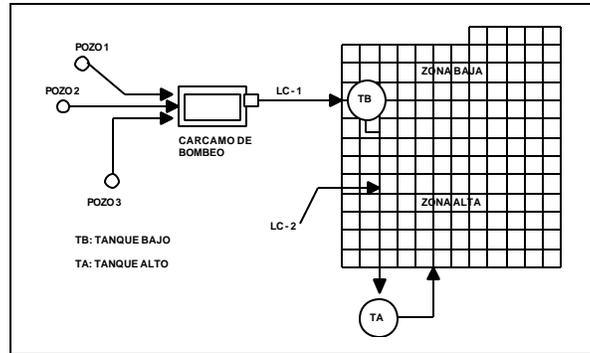
Ejemplo 5.3.

Un sistema de abastecimiento de agua potable que ha de proyectarse para cierta ciudad, de acuerdo a su topografía ha sido dividida en dos zonas denominadas "ALTA" y "BAJA". La fuente de abastecimiento es el agua subterránea y la obra de captación se compone de tres pozos profundos que envían su caudal hacia un mismo tanque superficial de concreto, de este tanque se rebombee hacia un tanque de regulación en la zona baja en donde se asienta el 40% de la población total. El tanque bajo (TB) abastece de agua a la zona baja y al mismo tiempo se tiene en él un equipo de bombeo que eleva el agua hasta el tanque de regulación de la zona alta, en el cual se asienta el 60% de la población total.

Se presenta la figura 5.4. para mejor comprensión del problema

Fig. 5.4 Esquema del sistema de abastecimiento para ejemplo 5.3





Datos de los censos de la localidad:

Censo de:	No. de habitantes
1921	5 459
1930	6 710
1940	7 065
1950	10 597
1960	16 556
1970	21 164
1980	27 476
1990	31 112

A partir del año 1991, calcular:

1. La población de proyecto para un período de diseño de 15 años utilizando el método de interés compuesto.
2. Los gastos de bombeo de los pozos considerando que el 1 y el 3 proporcionan 30 y 40% del gasto de diseño de la obra de captación respectivamente y bombean las 24 horas. El pozo 2 bombea de 7:00 a 17:00 horas. La dotación es de 250 l/hab/día para toda la población.
3. Los gastos de diseño en las líneas de conducción 1 y 2 considerando que del cárcamo se rebombee solo 20 horas del día hacia el tanque bajo y que de éste se bombea agua durante 16 horas al día hacia el tanque alto.

Solución:

1. El año para el cual se debe estimar la población es $1991 + 15 = 2006$

Utilizando el método del interés compuesto fórmula (5.10) se obtiene que la tasa de crecimiento, y con este dato calcular la población

Calculando la tasa de crecimiento entre 1980 y 1990 ($t = 10$ años)

$$i = \sqrt[t]{\frac{P}{P_0}} - 1 = \sqrt[10]{\frac{31112}{27476}} - 1 = 0.0125 \rightarrow 1.25\%$$

$$\therefore P_{2006} = 31\ 112 (1 + 0.0125)^{16} = 37\ 953 \text{ habitantes}$$

2. Como se estableció anteriormente fig. 5.3 el gasto de diseño de la obra de captación es el gasto máximo diario (Q_{MD}), por lo tanto los tres pozos deberán suministrar



$$V_{md} = \frac{D \times P}{1000} = \frac{250 \times 37953}{1000} = 9488.25 \text{ m}^3$$

Como los pozos 1 y 3 deben satisfacer el 30 y 40% del consumo medio diario respectivamente, al final del día habrán de producir los siguientes volúmenes:

Pozo 1

$$V_1 = 0.30 \times 9488.25 = 2846.48 \text{ m}^3$$

Pozo 3

$$V_3 = 0.40 \times 9488.25 = 3795.30 \text{ m}^3$$

Pozo 2

$$V_2 = 0.30 \times 9488.25 = 2846.48 \text{ m}^3$$

Estos pozos deberán de bombear las 24 horas, por lo tanto sus gastos de bombeo respectivo, serán:

$$Q_B = \frac{\text{VOLUMEN}}{\text{TIEMPO DE BOMBEO}}$$

Pozo 1

$$Q_{B-1} = \frac{2846.48}{24 \times 60 \times 60} \times 1000 = 32.95 \text{ l/s}$$

Pozo 3

$$Q_{B-3} = \frac{3795.30}{24 \times 60 \times 60} \times 1000 = 43.93 \text{ l/s}$$

Pozo 2

Como el pozo 2 trabajara solamente 10 hrs (7 a 17 hrs), su gasto de bombeo sera

$$Q_{B-2} = \frac{2846.48}{10 \times 60 \times 60} \times 1000 = 79.07 \text{ l/s}$$

- El gasto de las líneas de conducción es el gasto máximo diario fig. 5.3, pero para este caso se debe tomar en cuenta el tiempo de bombeo ya que no es continuo las 24 horas.

Del cárcamo de bombeo al tanque bajo (TB): 20 horas de bombeo.

$$Q_{LC-1} = \frac{24}{20} \times Q_{MD} = \frac{24}{20} \times \frac{250 \times 37953}{86400} \times 1.2 = 158.14 \text{ l/s}$$



Del tanque bajo al tanque alto: 16 horas de bombeo

$$Q_{LC-2} = \frac{24}{16} \times 0.6 Q_{MD} = \frac{24}{16} \times 0.6 \times \frac{250 \times 37953}{86400} \times 1.2 = 118.60 \text{ l/s}$$

En el caso de la línea de conducción LC-2 debe conducir el 60% debido a que en la zona baja se consume el 40% del gasto máximo diario.

Conclusión: No importa cuantas horas se bombee, siempre deberá tenerse al final del día un volumen igual al consumo medio diario, por lo que el gasto máximo diario deberá ser incrementado por un factor de 24 / (horas de bombeo) para satisfacer las necesidades de la población.





Capítulo 6

Aspectos Hidráulicos



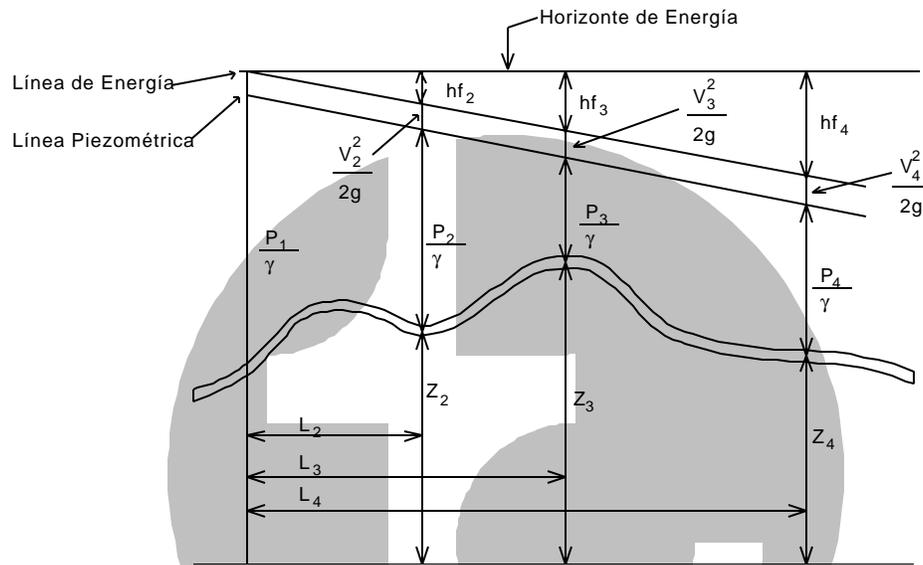
6. ASPECTOS HIDRAULICOS

Este capítulo tiene el objetivo de proporcionar los principales parámetros hidráulicos de conducción de agua utilizando tubería de PVC.

6.1. 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 6.1.

Fig. 6.1. Gradiente hidráulico y de energía



En otras palabras la energía queda definida como:

$$E = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \quad (6.1)$$

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 ($9.81 \text{ m}/\text{s}^2$)

Aplicando el teorema de Bernoulli entre dos secciones se tiene:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{t_{1-2}} \quad (6.2)$$

Siendo:

$h_{t_{1-2}}$ = 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:

$$ht_{1-2} = hf_{1-2} + hx_{1-2} \quad (6.3)$$

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: **$CD = LP - TN$.**

6.2. 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:

$$Q = VA \quad (6.4) \text{ y siendo } A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (6.5) \quad \therefore Q = \frac{V\pi}{4} D^2 \quad (6.6), \text{ por lo que } D = \sqrt{\frac{4}{\pi V}} \sqrt{Q} \quad (6.7)$$

Donde:

Q = Gasto (m^3/s)

V = Velocidad del flujo (m/s)

A = Área de la sección transversal del tubo (m^2)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

A la ecuación (6.7) se le aplica el factor de transformación de unidades de m^3/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:

$$D = K\sqrt{Q} \quad (6.8), \text{ siendo } K = \sqrt{\frac{4}{\pi V}} \times 1000 \quad (6.9)$$

Donde: Q en lps y D en mm

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

Cuadro 6.1. Constantes K para la relación (6.8)

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



Ejemplo 6.1.:

Si se toma como criterio de diseño una velocidad promedio de 1.5 m/s la fórmula para calcular el diámetro será:

$$D = 29.1346 \sqrt{Q}$$

Una vez calculado el diámetro interno, se compara con los diámetros internos del cuadro 4.1., 4.2. y 4.3. (capítulo 4) de especificaciones de tubería DURALON hidráulica y se toma el diámetro comercial inmediato superior dependiendo de la presión a la que va a trabajar la conducción se selecciona la Clase o el RD.

Así para un gasto de 50 lps el diámetro calculado sera $D = 206$ mm tomándose como diámetro nominal un tubo de 250 mm.

6.3. Fórmulas para cálculos de pérdidas de carga en tuberías

Para los cálculos hidráulicos de tuberías existe gran diversidad de fórmulas, en este capítulo se aplicarán las fórmulas de Darcy-Weisbach, Hazen-Williams y Manning.

6.3.1. 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" (ó λ) 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: (1), (25), (28) y (34)

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (6.10)$$

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/s^2)
- D = Diámetro interno del tubo (m)

Usando la ecuación de continuidad (6.4) y de área hidráulica (6.5) la relación anterior se deja en función del gasto, ya que:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (6.11)$$

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

$$V = \frac{4}{\pi} \frac{Q}{D^2} \quad (6.12) \quad \text{y} \quad \frac{V^2}{2g} = \frac{8Q^2}{\pi^2 D^4 g} \quad (6.13)$$

resolviendo (6.13) y considerando $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, la fórmula de pérdidas de carga queda de la siguiente forma:

$$hf = 8.263 \times 10^{-7} f L \frac{Q^2}{D^5} \quad (6.14)$$



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: (1), (25)

$$f = \frac{64}{Re} \quad (6.15)$$

Donde:

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

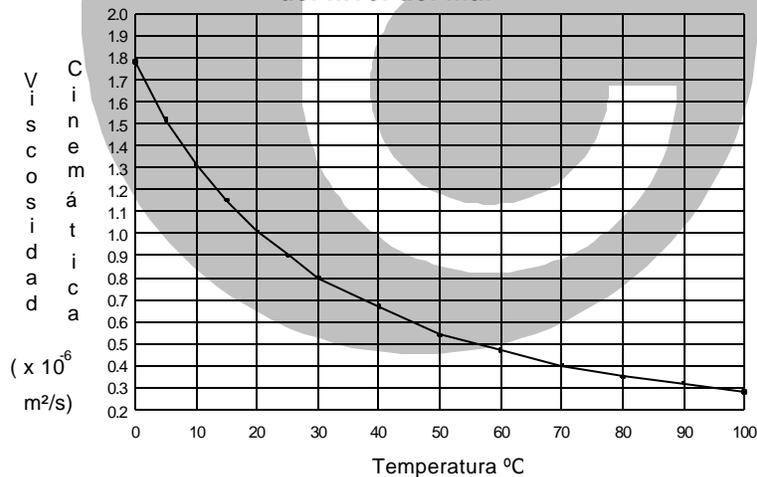
$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (6.16)$$

Siendo:

ν = Viscosidad cinemática (m²/s)

En la figura 6.2. se muestra la variación de viscosidad cinemática del agua por la temperatura (25)

Figura 6.2. 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 ($\nu = 1.01 \times 10^{-6}$ m²/s) se tiene :

$$Re = 1.2606 \times 10^6 \frac{Q}{D} \quad (6.17)$$

Donde:

Q en lps y D en milímetros



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

Cuadro 6.2. Valores de la constante para la fórmula de cálculo del Número de Reynolds a diferentes temperaturas

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

Fórmula de “ f ” de Colebrook - White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{Log} \left[\frac{e/D}{3.71} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right] \quad (6.18)$$

Donde:

ε = 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. (1)

$$f = \frac{0.25}{\left[\text{Log} \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (6.19)$$

Todos los términos definidos anteriormente.

Los valores de rugosidad absoluta se muestran en el cuadro 6.3. (25)

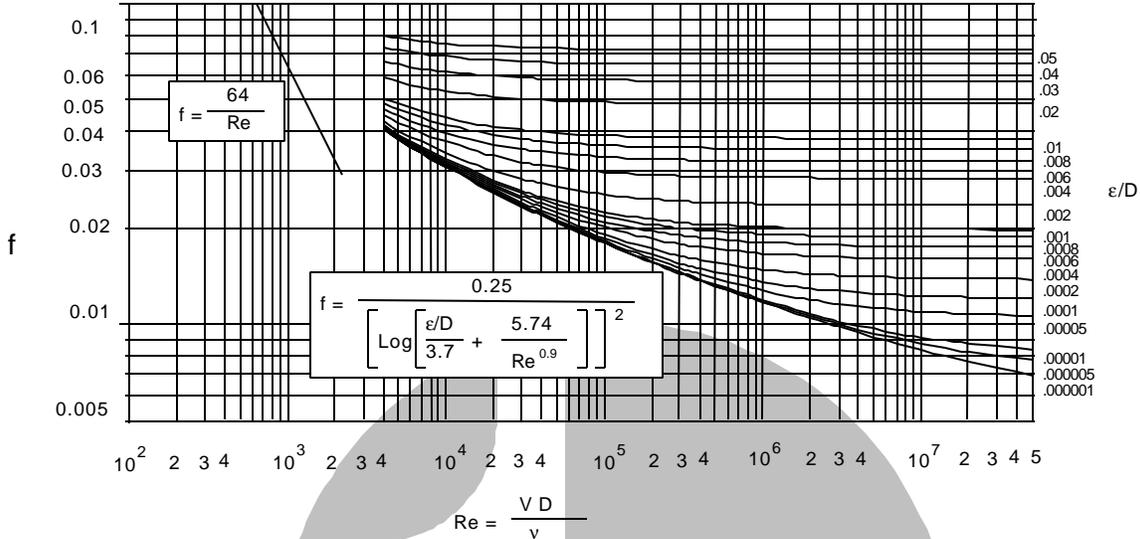
Cuadro 6.3. Valores de Rugosidad Absoluta (e) para diferentes materiales

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



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 6.3.).

Fig. 6.3. Diagrama de Moody usando la "f" de Swamee-Jain



6.3.2. 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. (3) (25)

$$V = 0.3547 C D^{0.63} S^{0.54} \quad (6.20)$$

Donde:

- V = Velocidad media (m/s)
- C = Coeficiente de fricción (adim)
- D = Diámetro interno del tubo (m)
- S = Pendiente (m/m)

Haciendo: $S = S_h = \frac{hf}{L}$ (6.21); $V = \frac{Q}{A}$ y $A = \frac{\pi D^2}{4}$; transformando unidades y despejando para hf tenemos respectivamente para gasto y para velocidad:

$$hf = \frac{1.21 \times 10^{10}}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} L \quad (6.22) \quad \text{y} \quad hf = \frac{21574.318}{D^{1.167}} \left(\frac{V}{C}\right)^{1.852} L \quad (6.22a)$$

Donde:

- hf = Pérdidas de carga por fricción (m)
- D = Diámetro interno del tubo (mm)
- Q = Gasto o caudal (lps)



V = Velocidad del flujo (m/s)
 C = Coeficiente de fricción (adim)
 L = Longitud del conducto (m)

Los coeficientes C para diferentes materiales están dados en el siguiente cuadro ^{(1), (25)}

Cuadro 6.4. Valores del Coeficiente “C” para usarse en la fórmula de Hazen - Williams.

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

6.3.3. 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:

$$V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2} \quad (6.23),$$

$$Rh = \frac{A}{Pm} \quad (6.24)$$

En donde:

V = Velocidad del flujo (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad (adim)

S = Pendiente del tubo (m/m)

Rh = Radio hidráulico (m)

A = Área del tubo (m²)

Pm = Perímetro mojado (m)

Ya que $Q = VA$; tenemos:

$$Q = \frac{A}{n} Rh^{2/3} S^{1/2} \quad (6.25)$$

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:

$$Pm = p D \quad (6.26), \quad Rh = \frac{A}{Pm} = \frac{(p D^2 / 4)}{p D} = \frac{D}{4} \quad (6.27)$$

Donde:

$$\pi = 3.1415927$$

D = Diámetro interno de la tubería (m)



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

$$Q = \frac{A}{n} \left(\frac{D}{4}\right)^{3/2} S^{1/2} \quad (6.28)$$

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

$$hf = \frac{10.294 \times 10^{10}}{D^{5.333}} (Qn)^2 L \quad (6.29)$$

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. (1),(25),(28)

Cuadro 6.5. Valores del Coeficiente “n” para usarse en la fórmula de Manning.

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

6.4. Cálculo de Pérdidas Locales

En general las pérdidas locales se evalúan como sigue :

$$hx = Kx \frac{V^2}{2g} \quad (6.30)$$

Donde:

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

Kx = Coeficiente según el tipo de accesorio (adim)

V²/2g = Carga de velocidad (m/s)

Los valores aproximados de Kx para los diferentes tipos de accesorios se muestran en el cuadro 6.6. (1)

Cuadro 6.6. Valores aproximados de Kx (pérdidas locales)

Pieza	Kx	Pieza	Kx
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 tubo	0.50	Válvula de retención (check)	2.50
Ampliación Brusca	$(1 - (D_1 / D_2)^2)^2$	Reducción Brusca ($D_2 / D_1 \leq 0.76$)	$0.42 (1 - (D_2 / D_1)^2)^2$
		Reducción Brusca ($D_2 / D_1 > 0.76$)	$(1 - (D_2 / D_1)^2)^2$

Nota : Para el cálculo de pérdidas en ampliaciones y reducciones bruscas se considera a Q y a D en el tramo de menor diámetro, por otro lado la dirección del flujo vá de D₁ a D₂



6.4.1. 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 ⁽¹⁾. El cuadro siguiente muestra la longitud equivalente para diferentes piezas.

Cuadro 6.7. Longitudes Equivalentes a pérdidas locales (expresadas en metros de tubería rectilínea)* ⁽¹⁾

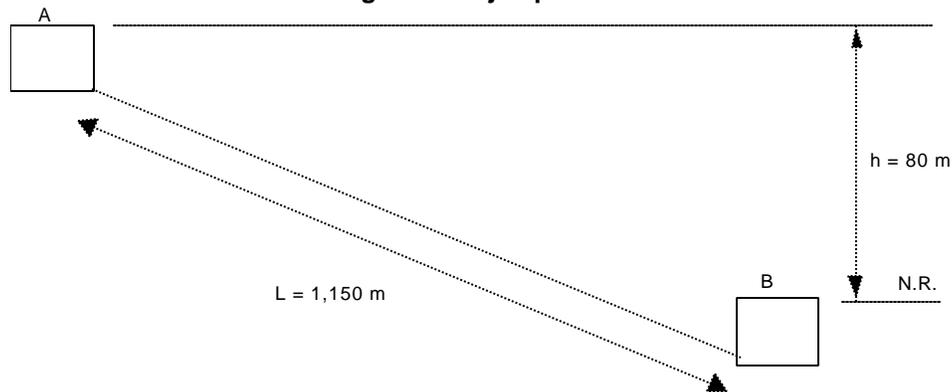
Diámetro		Codo 90° radio largo	Codo 90° radio medio	Codo 90° radio corto	Codo 45°	Curva 90° R/D 1 1/2	Curva 90° R/D 1	Curva 45°	Entrada normal	Entrada de borda	Válvula de compuerta abierta	Válvula tipo globo abierta	Válvula de ángulo abierta	Te paso directo	Te salida lateral	Te salida bilateral	Válvula de pie	Salida de tubería	Válvula de retención tipo liviana	Válvula de retención tipo pesado
mm	pulg																			
13	1/2	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1	4.9	2.6	0.3	1.0	1.0	3.6	0.4	1.1	1.6
19	3/4	0.4	0.6	0.7	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.5	0.1	6.7	3.6	0.4	1.4	1.4	5.6	0.5	1.6	2.4
25	1	0.5	0.7	0.8	0.4	0.3	0.5	0.2	0.3	0.7	0.2	8.2	4.6	0.5	1.7	1.7	7.3	0.7	2.1	3.2
32	1 1/4	0.7	0.9	1.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	0.9	0.2	11.3	5.6	0.7	2.3	2.3	10.0	0.9	2.7	4.0
38	1 1/2	0.9	1.1	1.3	0.6	0.5	0.7	0.3	0.5	1.0	0.3	13.4	6.7	0.9	2.8	2.8	11.6	1.0	3.2	4.8
50	2	1.1	1.4	1.7	0.8	0.6	0.9	0.4	0.7	1.5	0.4	17.4	8.5	1.1	3.5	3.5	14.0	1.5	4.2	6.4
63	2 1/2	1.3	1.7	2.0	0.9	0.8	1.0	0.5	0.9	1.9	0.4	21.0	10.0	1.3	4.3	4.3	17.0	1.9	5.2	8.1
75	3	1.6	2.1	2.5	1.2	1.0	1.3	0.6	1.1	2.2	0.5	26.0	13.0	1.6	5.2	5.2	20.0	2.2	6.3	9.7
100	4	2.1	2.8	3.4	1.5	1.3	1.6	0.7	1.6	3.2	0.7	34.0	17.0	2.1	6.7	6.7	23.0	3.2	6.4	12.9
125	5	2.7	3.7	4.2	1.9	1.6	2.1	0.9	2.0	4.0	0.9	43.0	21.0	2.7	8.4	8.4	30.0	4.0	10.4	16.1
150	6	3.4	4.3	4.9	2.3	1.9	2.5	1.1	2.5	5.0	1.1	51.0	26.0	3.4	10.0	10.0	39.0	5.0	12.5	19.3
200	8	4.3	5.5	6.4	3.0	2.4	3.3	1.5	3.5	6.0	1.4	67.0	34.0	4.3	13.0	13.0	52.0	6.0	16.0	25.0
250	10	5.5	6.7	7.9	3.8	3.0	4.1	1.8	4.5	7.5	1.7	85.0	43.0	5.5	16.0	16.0	65.0	7.5	20.0	32.0
300	12	6.1	7.9	9.5	4.6	3.6	4.8	2.2	5.5	9.0	2.1	102.0	51.0	6.1	19.0	19.0	78.0	9.0	24.0	38.0
350	14	7.3	9.5	10.5	5.3	4.4	5.4	2.5	6.2	11.0	2.4	120.0	60.0	7.3	22.0	22.0	90.0	11.0	28.0	45.0

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

Ejemplo 6.2.

Se tiene una tubería de PVC de 250 mm (10") de diámetro, clase 10. La tubería tiene una longitud total de 1,150 m y conduce agua de un tanque elevado 80 metros sobre el nivel de la descarga (ver figura). Determinar el gasto que circula por la tubería, si se tienen en el recorrido 3 codos de 22.5°, 6 de 45° y 2 de 90°, además de tener dos válvulas de compuerta totalmente abiertas.

Figura del ejemplo 6.2.



Solución (a) Usando Darcy Weisbach:

Usando la relación (6.2.) aplicado del punto A al B, el término P/γ se elimina en ambos miembros, ya que están expuestos a la presión atmosférica, la velocidad en los tanques es muy pequeña siendo despreciable por lo que la ecuación (6.2.) queda de la siguiente manera al despejar para pérdidas de carga. (Se asume una T^a de 20° C)

$$Z_A - Z_B = ht_{A-B} \quad \text{siendo} \quad ht_{A-B} = hf_{A-B} + hx_{A-B} \quad \therefore \quad Z_A - Z_B = hf_{A-B} + hx_{A-B}$$

$$f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \frac{V^2}{2g} \sum_{x=1}^n Kx = Z_A - Z_B \quad \text{factorizando} \quad \frac{V^2}{2g} \left(f \frac{L}{D} + \sum_{x=1}^n Kx \right) = Z_A - Z_B$$

$$\text{y como} \quad \frac{V^2}{2g} = \frac{8Q^2}{p^2 D^4 g} \quad \therefore \quad \frac{8Q^2}{p^2 D^4 g} \left(f \frac{L}{D} + \sum_{x=1}^n Kx \right) = Z_A - Z_B$$

Al despejar para gasto

$$Q = p \sqrt{\frac{g}{8}} \sqrt{\frac{Z_A - Z_B}{f \frac{L}{D^5} + \left(\frac{1}{D^4} \right) \sum_{x=1}^n Kx}}$$

Datos:

$$Z_A - Z_B = 80 \text{ m,}$$

$$L = 1,150 \text{ m,}$$

$$DN = 250 \text{ mm,}$$

$$DI = 231.7 \text{ mm (cuadro 4.2., capítulo 4, tubo DURALÓN HASM, clase 10)}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\pi = 3.1416$$

$$K_{\text{codo } 22.5^\circ} = 0.2 \text{ (cuadro 6.6),}$$

$$K_{\text{codo } 45^\circ} = 0.4,$$

$$K_{\text{codo } 90^\circ} = 0.9,$$

$$K_{\text{Válvula de comp.}} = 0.2$$

$$SKx = 3(0.2) + 6(0.4) + 2(0.9) + 2(0.2) = 5.2,$$

$$SKx/D^4 = 5.2/(0.2317)^4 = 1,804.26$$

$$L/D^5 = 1150/(0.2317)^5 = 1.7221 \times 10^6,$$

La fórmula para calcular Q queda:

$$Q = 3.1416 \sqrt{\frac{9.81}{8}} \sqrt{\frac{80}{1.7221 \times 10^6 f + 1804.26}}$$

De la relación (6.17):

$$RE = (1.2606 \times 10^6) (Q/0.2317 \text{ m}) = 5.44 \times 10^6 Q, \text{ con } Q \text{ en } \text{m}^3/\text{s}$$

$$e/D = 0.0015 \text{ mm} / 231.7 \text{ mm} = 6.474 \times 10^6$$



Como se puede observar el Número de Reynolds queda en función del gasto, por lo tanto la f también queda en función del gasto, para resolver este tipo de problemas se hacen tanteos (a prueba y error). Regularmente se tienen entre cinco y seis iteraciones.

No.	Q asumido (m ³ /s)	Número de Reynolds	f de Swamee - Jain	Q calculado (m ³ /s)
1	0.100	5.4E+05	0.013006	0.200
2	0.200	1.1E+06	0.011614	0.211
3	0.211	1.1E+06	0.011520	0.212
4	0.212	1.2E+06	0.011514	0.212
5	0.212	1.2E+06	0.011513	0.212
6	0.212	1.2E+06	0.011513	0.212

En la 6ª iteración la f se mantiene constante por lo que la solución al problema es:

Solución (a)
Q = 212 lps.
V = 5.02 m/s

Solución (b) Usando Hazen-Williams:

De la fórmula (6.20.), haciendo $V = Q/A$, $A = \pi D^2 / 4$, $S = Sh = ht / L$ y $ht = Z_A - Z_B$

$$Q = 0.2785 C D^{2.63} \frac{h^{0.54}}{L^{0.54}}$$

Para las pérdidas locales se utilizará el método de la longitud equivalente (apartado 6.4.1., cuadro 6.7.)

Así para:

$$Le_{\text{codo } 22.5^\circ} = 3.8 \text{ m (se toma el de } 45^\circ, \text{ cuadro 6.7),}$$

$$Le_{\text{codo } 45^\circ} = 3.8,$$

$$Le_{\text{codo } 90^\circ} = 6.7,$$

$$Le_{\text{Válvula de comp.}} = 1.7$$

$$SLe = 3(3.8) + 6(3.8) + 2(6.7) + 2(1.7) = 51 \text{ m}$$

$$Lt = L + Le = 1,150 \text{ m} + 51 \text{ m} = 1,201 \text{ m}$$

$$Q = 0.2785 (150) (0.2317)^{2.63} \frac{(80)^{0.54}}{(1,201)^{0.54}} = 0.207 \text{ m}^3 / \text{s}$$



Solución (b)
Q = 207 lps.
V= 4.91 m/s

Solución (c) Usando Manning:

De la fórmula (6.28.), haciendo $A = \pi D^2 / 4$, $S = Sh = ht / L$ y $ht = Z_A - Z_B$,

$$Q = \frac{A}{n} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} \frac{h^{0.5}}{L^{0.5}}$$

Para las pérdidas locales se utilizará el método de la longitud equivalente (apartado 6.4.1., cuadro 6.7.)

Así para:

$$Le_{\text{codo } 22.5^\circ} = 3.8 \text{ m (se toma el de } 45^\circ, \text{ cuadro 6.7),}$$

$$Le_{\text{codo } 45^\circ} = 3.8,$$

$$Le_{\text{codo } 90^\circ} = 6.7,$$

$$Le_{\text{válvula de comp.}} = 1.7$$

$$SLe = 3(3.8) + 6(3.8) + 2(6.7) + 2(1.7) = 51 \text{ m}$$

$$Lt = L + Le = 1,150 \text{ m} + 51 \text{ m} = 1,201 \text{ m}$$

$$A = (3.1416)(0.2317)^2 / 4 = 0.0422 \text{ m}^2$$

$$Q = \frac{0.0422}{0.009} \left(\frac{0.2317}{4} \right)^{2/3} \frac{(80)^{0.5}}{(1,201)^{0.5}} = 0.181 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Solución (c)
Q = 181 lps.
V= 4.29 m/s



6.5. Golpe de Ariete

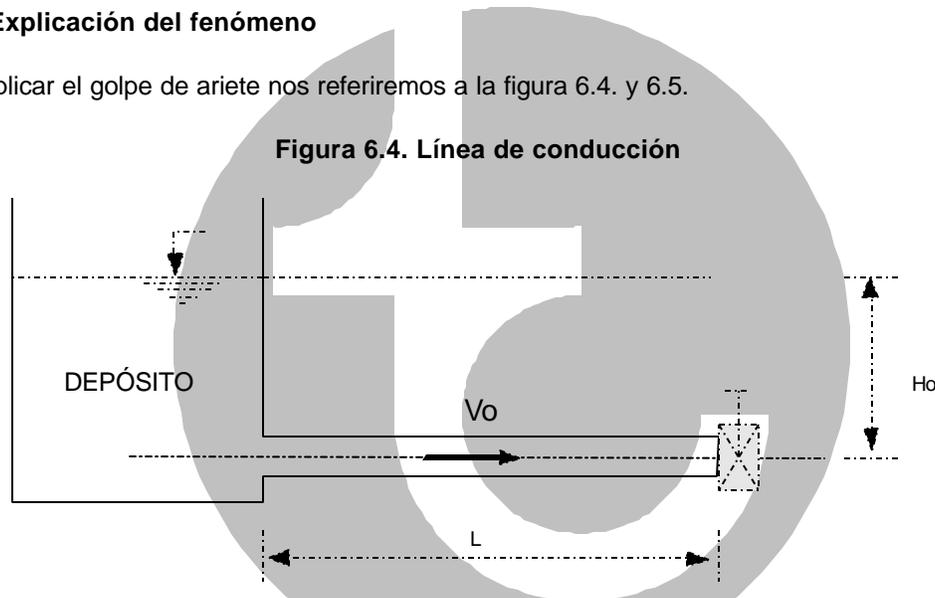
El golpe de ariete es un fenómeno hidráulico que se presenta en las tuberías cuando se tiene un cierre brusco de válvulas, un paro de equipos de bombeo o cualquier cambio de velocidad en el flujo.

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. ⁽¹¹⁾

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.

6.5.1. Explicación del fenómeno

Para explicar el golpe de ariete nos referiremos a la figura 6.4. y 6.5.

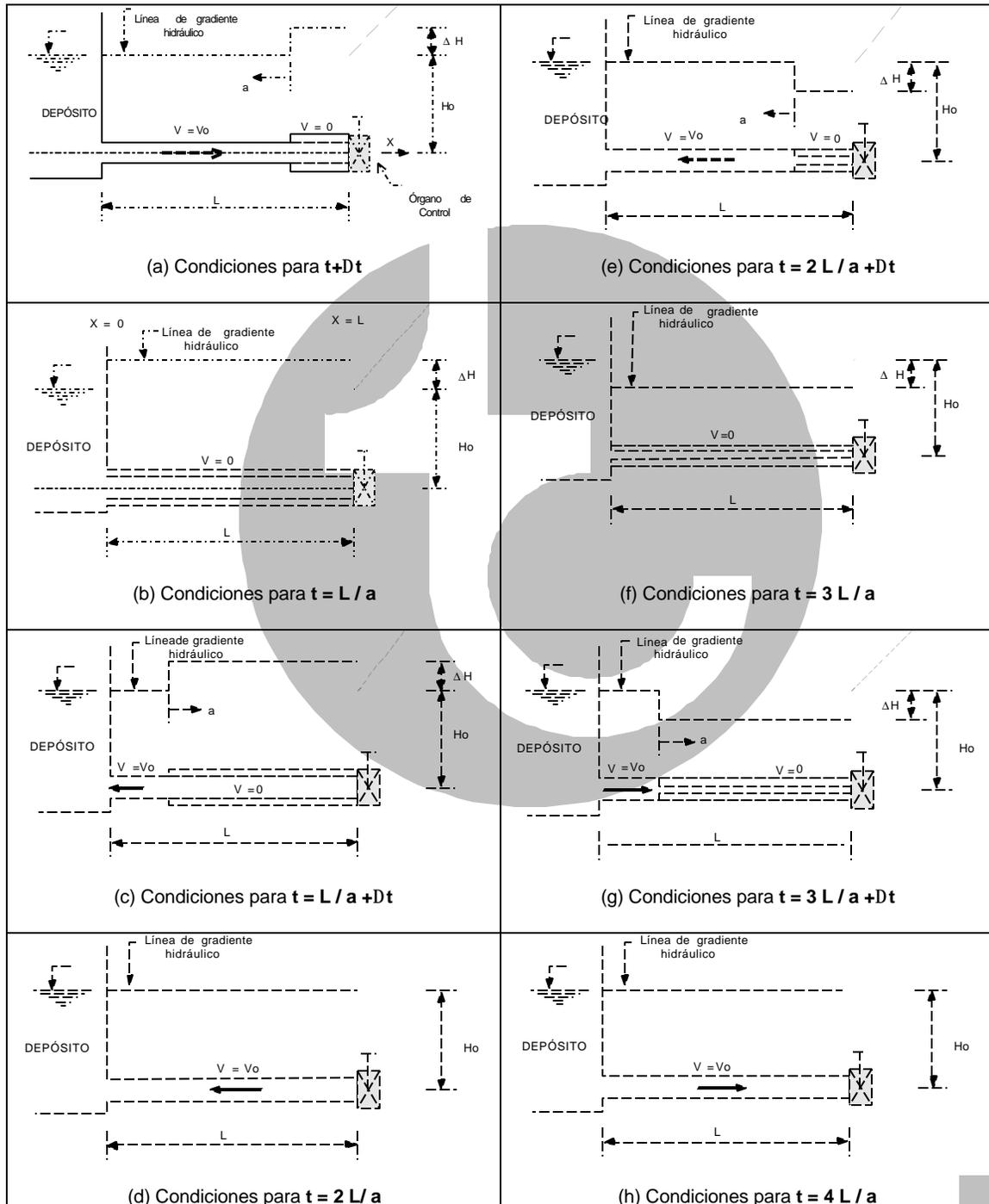


Supongamos un depósito conteniendo una gran cantidad de agua, en el instante del cierre del órgano de control (válvula) aguas abajo del depósito con una longitud " L " (figura 6.5. a), se genera una onda de presión positiva que viaja aguas arriba con una velocidad o celeridad " a ", además se provoca 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 6.5. 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 6.5. c) en un tiempo $t = 2L/a$ (figura 6.5. 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 $V = 0$, teniendo al principio del conducto la velocidad original $V = V_o$ (figura 6.5. 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 6.5. 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 6.5. e), la onda viaja nuevamente aguas arriba llegando al depósito en un tiempo $t = 3L/a$ (figura 6.5. f), el depósito funciona nuevamente como pantalla reflejando la onda como

onda de presión positiva hacia el órgano de control (figura 6.5. g) hasta llegar al final en un tiempo $t = 4 L/a$ (figura 6.5. h) recuperando el conducto su forma original. Esta segunda fase se conoce como fase inversa del golpe de ariete.

Fig. 6.5. Propagación de la onda de presión en un conducto causado por un cierre instantáneo del órgano de control (válvula, compuerta) (11)



Si no existiese 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. ⁽¹¹⁾

6.5.2. Cálculo del golpe de ariete.

La velocidad de la onda de presión “a”, depende tanto de las propiedades elásticas del conducto, como las del fluido, para agua quedaría definida como sigue:

$$a = \frac{1,482}{\sqrt{1 + \frac{E_v D}{E_t e}}} \quad (6.31)$$

Donde:

a = Velocidad de la onda, (m/s)

E_v = Módulo de elasticidad del agua (kg/m^2) ($2.24 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$)

E_t = Módulo de elasticidad del material (kg/m^2) (para PVC, $1.124 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$)

D = Diámetro interno del conducto (m)

e = Espesor de pared del tubo (m)

Para algunos de los materiales más comunes la fórmula anterior se podría poner de la siguiente forma.

$$a = \frac{1,482}{\sqrt{1 + K_a \frac{D}{e}}} \quad (6.32)$$

Siendo:

$K_a = E_v / E_t$ (cuadro 6.8.) tomando la E_v del agua ($2.24 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$)

Cuadro 6.8. Valores del módulos de elasticidad E_t y K_a para diferentes materiales ⁽¹¹⁾

Material	E_t (kg/m^2)	K_a (adim)
PVC*	2.813×10^8	0.793
A-C	2.45×10^9	0.091
Acero	2.10×10^{10}	0.0106
Fo.Fo.	9.30×10^9	0.024

* Para el PVC se tomó el módulo de elasticidad de 400,000 PSI

Cuadro 6.9. Velocidades de la onda de presión para cálculo de golpe de ariete tubería Duralón Hidráulica Serie Inglesa

Diámetro Nominal DN (mm)	RD 41	RD 32.5	RD 26
32	---	---	353.54
38	---	320.81	356.72
50	286.03	310.16	347.02
60	281.26	308.12	344.87
75	278.57	306.33	341.77
100	274.02	304.55	340.16
150	269.60	301.19	341.52
200	268.07	302.63	339.89

Nota: El cálculo de la onda de presión se hizo usando diámetros internos y espesores de pared promedio.



Cuadro 6.10. Velocidades de la onda de presión para cálculo de golpe de ariete tubería Duralón Hidráulica Sistema Métrica

Diámetro Nominal DN (mm)	CLASE 5	CLASE 7	CLASE 10	CLASE 14
160	230.94	271.74	323.38	380.91
200	230.55	271.74	322.82	380.42
250	229.32	270.42	322.14	380.03
315	230.85	270.59	322.44	380.33
355	228.03	270.72	320.95	379.57
400	228.24	270.42	321.69	378.95
450	228.49	269.83	321.43	378.90
500	228.70	269.35	320.78	379.25
630	228.40	269.32	321.00	379.09

Nota: El cálculo de la onda de presión se hizo usando diámetros internos y espesores de pared promedio.

Como se pudo observar en la figura 6.5. (a - h), el golpe de ariete tiene dos fases, una directa y una inversa, ambas con una duración $t = 2L/a$, que es el tiempo crítico donde la sobrepresión llega a su máximo, por lo que:

$$T = \frac{2L}{a} \quad (6.33)$$

$$\Delta h = \frac{2LV}{gT} \quad (6.34)$$

Donde:

a = Velocidad de la onda de presión (m/s)

h = Sobrepresión ocasionada por golpe de ariete (m.c.a.)

V = Velocidad de conducción (m/s)

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

Sustituyendo (6.33) en (6.34), se tiene: $\Delta h = \frac{aV}{g} \quad (6.35)$

Los cuadros 6.11. y 6.12. presentan los valores de sobrepresión para la tubería Duralón.

Cuadro 6.11. Sobrepresión en m.c.a. debida al Golpe de Ariete para diferentes velocidades de flujo en tubería Duralón Hidráulica Serie Inglesa

DN (mm)	RD	a (m/s)	V = 0.5	V = 1.0	V = 1.2	V = 1.5	V = 1.8	V = 2.0	V = 2.5
32	26	353.54	18.02	36.04	43.25	54.06	64.87	72.08	90.10
38	32.5	320.81	16.35	32.70	39.24	49.05	58.86	65.40	81.76
	26	356.72	18.18	36.36	43.64	54.54	65.45	72.73	90.91
50	41	286.03	14.58	29.16	34.99	43.73	52.48	58.31	72.89
	32.5	310.16	15.81	31.62	37.94	47.43	56.91	63.23	79.04
	26	347.02	17.69	35.37	42.45	53.06	63.67	70.75	88.44
60	41	281.26	14.34	28.67	34.40	43.01	51.61	57.34	71.68
	32.5	308.12	15.70	31.41	37.69	47.11	56.54	62.82	78.52
	26	344.87	17.58	35.15	42.19	52.73	63.28	70.31	87.89
75	41	278.57	14.20	28.40	34.08	42.60	51.11	56.79	70.99
	32.5	306.33	15.61	31.23	37.47	46.84	56.21	62.45	78.07
	26	341.77	17.42	34.84	41.81	52.26	62.71	69.68	87.10
100	41	274.02	13.97	27.93	33.52	41.90	50.28	55.87	69.83
	32.5	304.55	15.52	31.05	37.25	46.57	55.88	62.09	77.61
	26	340.16	17.34	34.67	41.61	52.01	62.41	69.35	86.69
150	41	269.60	13.74	27.48	32.98	41.22	49.47	54.96	68.71
	32.5	301.19	15.35	30.70	36.84	46.05	55.26	61.40	76.76

	26	341.52	17.41	34.81	41.78	52.22	62.66	69.63	87.03
200	41	268.07	13.66	27.33	32.79	40.99	49.19	54.65	68.32
	32.5	302.63	15.42	30.85	37.02	46.27	55.53	61.70	77.12
	26	339.89	17.32	34.65	41.58	51.97	62.37	69.30	86.62

Cuadro 6.12. Sobrepresión en m.c.a. debida al Golpe de Ariete para diferentes velocidades de flujo en tubería Duralón Hidráulica Serie Métrica

DN (mm)	Clase	a (m/s)	V = 0.5	V = 1.0	V = 1.2	V = 1.5	V = 1.8	V = 2.0	V = 2.5
160	5	230.94	11.77	23.54	28.25	35.31	42.37	47.08	58.85
	7	271.74	13.85	27.70	33.24	41.55	49.86	55.40	69.25
	10	323.38	16.48	32.96	39.56	49.45	59.34	65.93	82.41
	14	380.91	19.41	38.83	46.59	58.24	69.89	77.66	97.07
200	5	230.55	11.75	23.50	28.20	35.25	42.30	47.00	58.75
	7	271.74	13.85	27.70	33.24	41.55	49.86	55.40	69.25
	10	322.82	16.45	32.91	39.49	49.36	59.23	65.81	82.27
	14	380.42	19.39	38.78	46.54	58.17	69.80	77.56	96.95
250	5	229.32	11.69	23.38	28.05	35.06	42.08	46.75	58.44
	7	270.42	13.78	27.57	33.08	41.35	49.62	55.13	68.91
	10	322.14	16.42	32.84	39.41	49.26	59.11	65.68	82.09
	14	380.03	19.37	38.74	46.49	58.11	69.73	77.48	96.85
315	5	230.85	11.77	23.53	28.24	35.30	42.36	47.06	58.83
	7	270.59	13.79	27.58	33.10	41.37	49.65	55.17	68.96
	10	322.44	16.43	32.87	39.44	49.30	59.16	65.74	82.17
	14	380.33	19.38	38.77	46.52	58.15	69.79	77.54	96.92
355	5	228.03	11.62	23.24	27.89	34.87	41.84	46.49	58.11
	7	270.72	13.80	27.60	33.12	41.39	49.67	55.19	68.99
	10	320.95	16.36	32.72	39.26	49.08	58.89	65.43	81.79
	14	379.57	19.35	38.69	46.43	58.04	69.65	77.38	96.73
400	5	228.24	11.63	23.27	27.92	34.90	41.88	46.53	58.16
	7	270.42	13.78	27.57	33.08	41.35	49.62	55.13	68.91
	10	321.69	16.40	32.79	39.35	49.19	59.02	65.58	81.98
	14	378.95	19.31	38.63	46.36	57.94	69.53	77.26	96.57
450	5	228.49	11.65	23.29	27.95	34.94	41.93	46.58	58.23
	7	269.83	13.75	27.51	33.01	41.26	49.51	55.01	68.76
	10	321.43	16.38	32.77	39.32	49.15	58.98	65.53	81.91
	14	378.90	19.31	38.62	46.35	57.94	69.52	77.25	96.56
500	5	228.70	11.66	23.31	27.98	34.97	41.96	46.63	58.28
	7	269.35	13.73	27.46	32.95	41.19	49.42	54.91	68.64
	10	320.78	16.35	32.70	39.24	49.05	58.86	65.40	81.75
	14	379.25	19.33	38.66	46.39	57.99	69.59	77.32	96.65
630	5	228.40	11.64	23.28	27.94	34.92	41.91	46.56	58.20
	7	269.32	13.73	27.45	32.94	41.18	49.42	54.91	68.63
	10	321.00	16.36	32.72	39.27	49.08	58.90	65.44	81.80
	14	379.09	19.32	38.64	46.37	57.96	69.56	77.29	96.61

Ejemplo 6.3.

Usando las condiciones del ejemplo 6.2. calcular el golpe de ariete en caso de un cierre de válvulas, usando el resultado de la solución (a).

Del cuadro 6.10. entrando con una tubería de 250 mm de diámetro y con clase 10 se tiene velocidad de la onda "a" de 322.14 m/s. Como en el cuadro 6.12. no existe la sobrepresión para una velocidad de flujo de 5.0 m/s, se hace el cálculo de la sobrepresión usando la relación 6.35.

$$\Delta h = \frac{(322.14 \text{ m/s})(5.0 \text{ m/s})}{9.81 \text{ m/s}^2} = 164.2 \text{ m} = 16.42 \text{ kg/cm}^2$$

Como se puede observar la sobrepresión por golpe de ariete en caso de un cierre brusco de válvulas es mayor incluso a la presión de trabajo de la tubería (clase 10, para 10 kg/cm²). Se recomienda instalar una válvula aliviadora de presión o una válvula de seguridad (liberadora de presión) (ver apartado 6.5.3.)



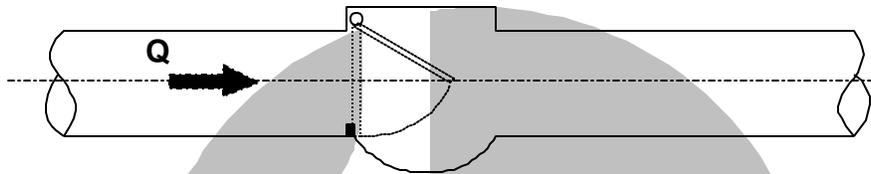
6.5.3. Dispositivos de alivio

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. ⁽¹¹⁾ Los diferentes tipos de válvulas se describen a continuación:

6.5.3.1. 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.

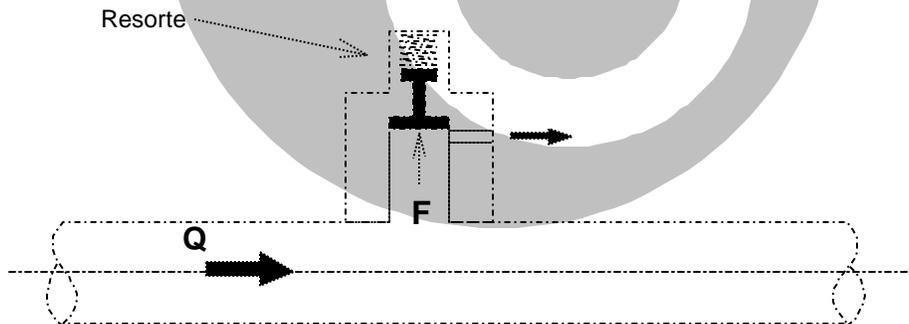
Fig. 6.6. Dibujo esquemático de una válvula de no retorno (check)



6.5.3.2. 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. 6.7. Dibujo esquemático de una válvula de seguridad



Estas válvulas operan totalmente abiertas o totalmente cerradas.

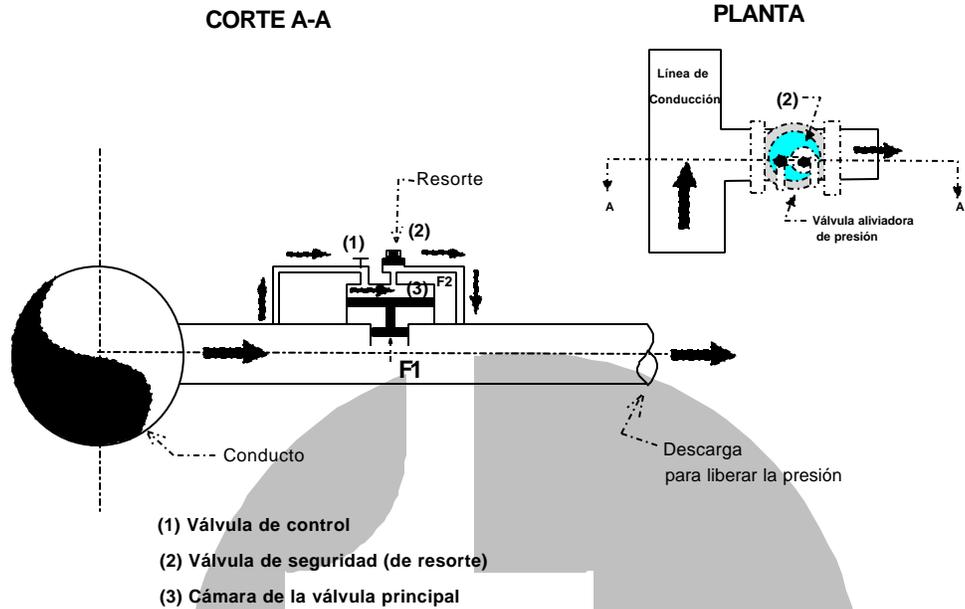
6.5.3.3. Válvula aliviadora de presión o supresora de oscilaciones.

Estas válvulas tienen un funcionamiento amortiguador de la sobrepresión 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. 6.8. Dibujo esquemático de una válvula aliviadora de presión.



6.5.3.4. 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).

6.5.4. Instalación adecuada de las válvulas

Fig. 6.9. Ubicación de las válvulas para prevenir el golpe de ariete

a) Conducto por gravedad	b) Plantas de bombeo
<p>(1) Válvula o compuerta de seccionamiento</p> <p>(2) Válvula de no retorno</p>	<p>(3) Válvula aliviadora de presión, reguladora de presión o de seguridad.</p> <p>(4) Válvula de admisión de aire.</p>

6.6. 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 reduciendolo hasta un 10 % o más debido a las bolsas de aire formadas en las partes altas de la tubería. ⁽²²⁾

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

6.6.1. 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 ⁽²⁾, 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. ⁽²¹⁾

El origen del aire en las tuberías se debe a lo siguiente: ⁽²⁾

- "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 teniendose en ocasiones cese de flujo (ver figuras 6.10. y 6.11)



Fig. 6.10. Cese del flujo debido a bolsas de aire en una tubería a presión. (2)

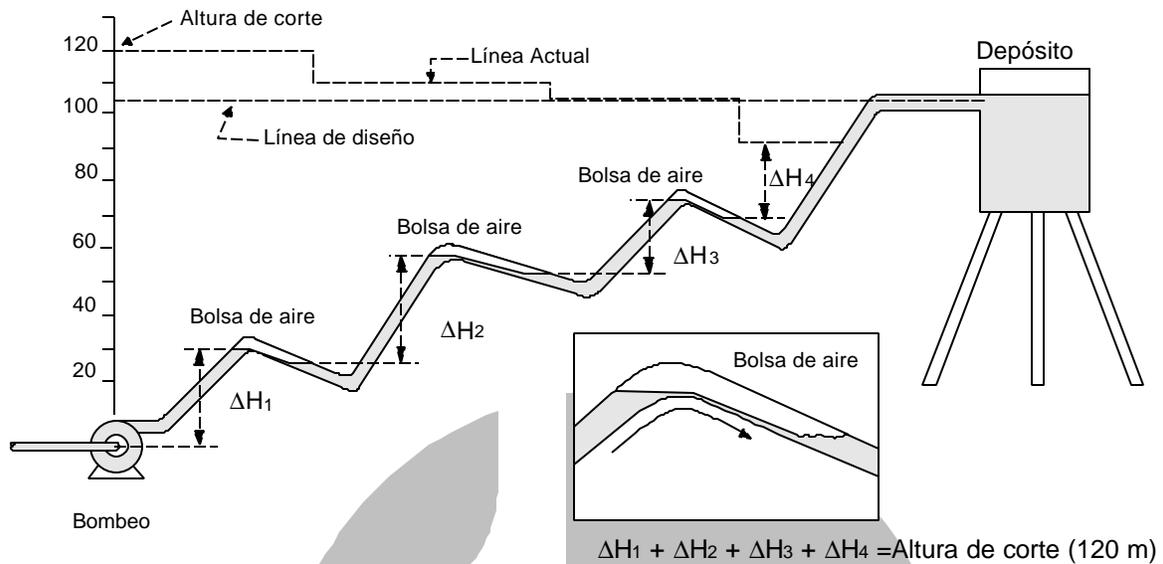
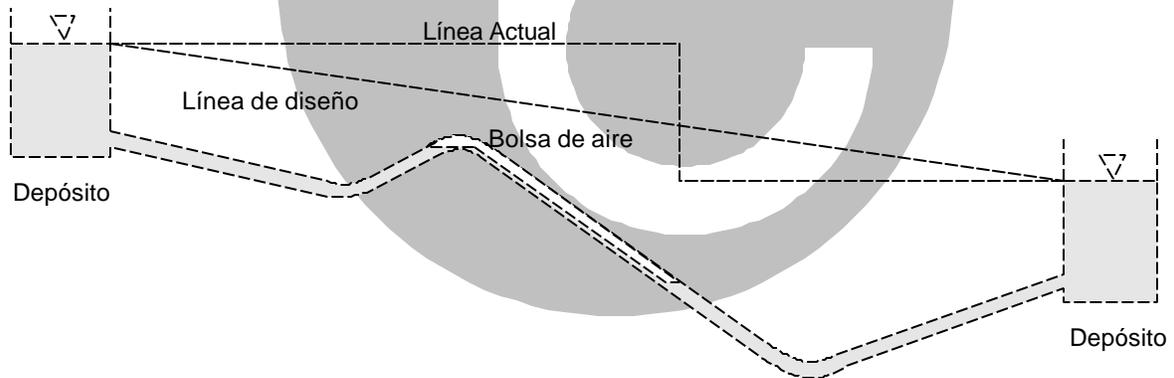


Fig. 6.11. Cese del flujo debido a bolsas de aire en una tubería a baja presión (gravedad). (2)



- b) Cavitación: Dentro de la tubería, al reducirse la sección, aumenta la velocidad teniendo 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.



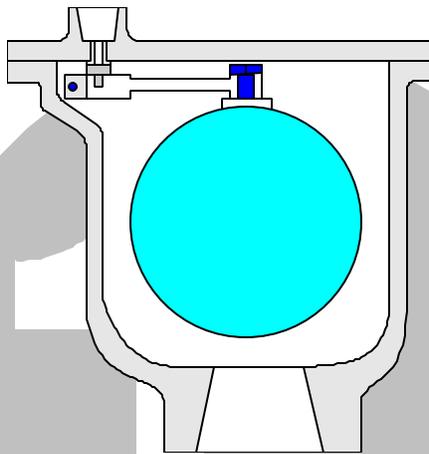
Evacuando el aire en las proximidades de los medidores se garantiza la exactitud de las medidas.

6.6.2. Accesorios para prevenir y controlar el aire y 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 ⁽²¹⁾. La siguiente clasificación se basa principalmente en el funcionamiento de las válvulas:

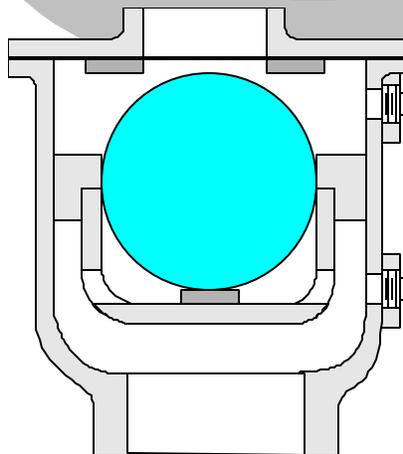
- (I) Válvulas eliminadoras de aire o automáticas: Las cuales funcionan en los sistemas presurizados expulsando el aire que se libera del agua al haber cambios de presión en la tubería por cambios topográficos.

Fig. 6.12. Válvula eliminadora de aire



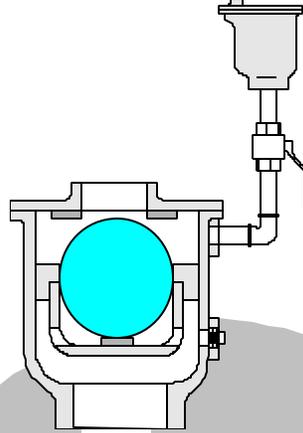
- (II) Válvula de admisión y expulsión de aire: Las cuales funcionan para evacuar el aire durante el llenado de las tuberías y para admitir aire en el vaciado, sea accidental o intencionado.

Fig. 6.13. Válvula de admisión y expulsión de aire



- (III) 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 evacúan el aire que se libera del agua.

Fig. 6.14. Válvula combinada o de doble propósito



6.6.3. Cálculo del diámetro mínimo de las válvulas.

La selección del diámetro de las válvulas para el control del aire se hace mediante los gráficos 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 (II)

La referencia ⁽²²⁾ recomienda para seleccionar el diámetro de la válvulas de admisión y expulsión de aire (II) 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:

$$\text{Flujo en PCS} = 0.086592 \sqrt{PD^5} \quad (6.36)$$

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 (I)

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.

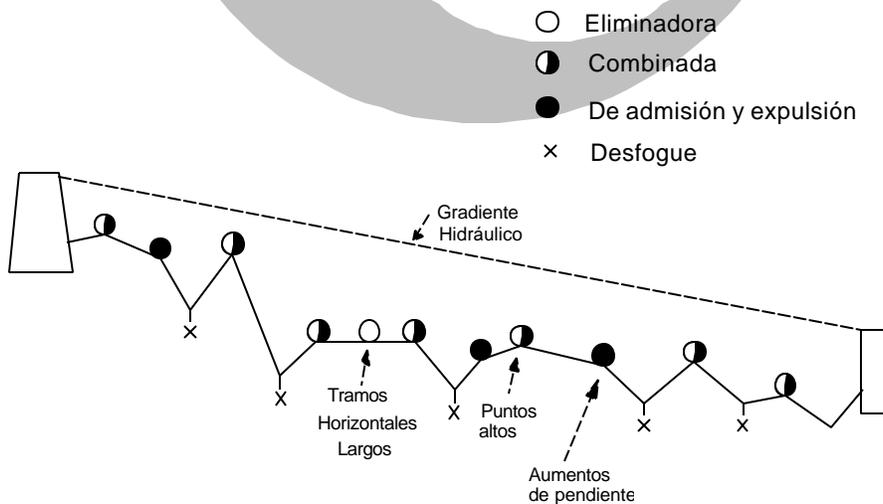
Cuadro 6.13. Guía para seleccionar la válvula eliminadora de aire necesaria (22 Y 23)

Diámetro Máximo de la Tubería		Gasto Máximo	Presión en PSI (kg/cm ²)					
			1 a 50* (0.07 a 3.5)		1 a 150* (0.07 a 10.5)		1 a 300* (0.07 a 21.1)	
			Diámetro del orificio de salida	Capacidad	Diámetro del orificio de salida	Capacidad	Diámetro del orificio de salida	Capacidad
pulg	mm	lps	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

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

6.6.4. Colocación de las válvulas.

Fig. 6.15. Localización de las válvulas de control de aire



Además se recomienda instalar las válvulas en:



- (1) 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 (I), si desciende y hay peligro de vaciado rápido, una válvula combinada (III).
- (2) En tuberías con pendiente uniforme se recomiendan entre 400 y 800 m
- (3) En los equipos de bombeo, antes de la válvula de retención (check) se recomienda instalar una válvula de admisión y expulsión de aire (II).
- (4) Se debe instalar una válvula combinada (III) antes de los medidores (10 diámetros) para evitar error en las mediciones y daños al equipo.
- (5) En el cruce de carreteras, después del cruce una válvula combinada (III).



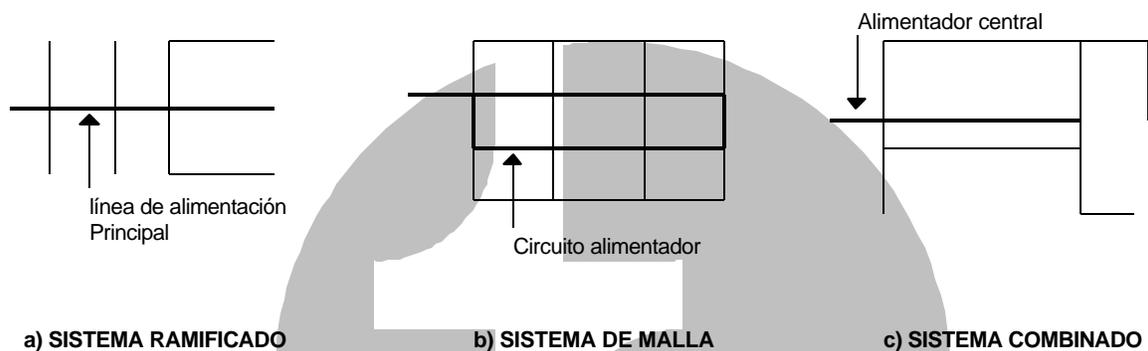
6.7 Redes de distribución

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.⁽³⁾

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.

6.7.1. Clasificación de los sistemas de distribución

Fig. 6.16 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: ⁽³⁾

- "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. ⁽³⁾

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. ⁽³⁾

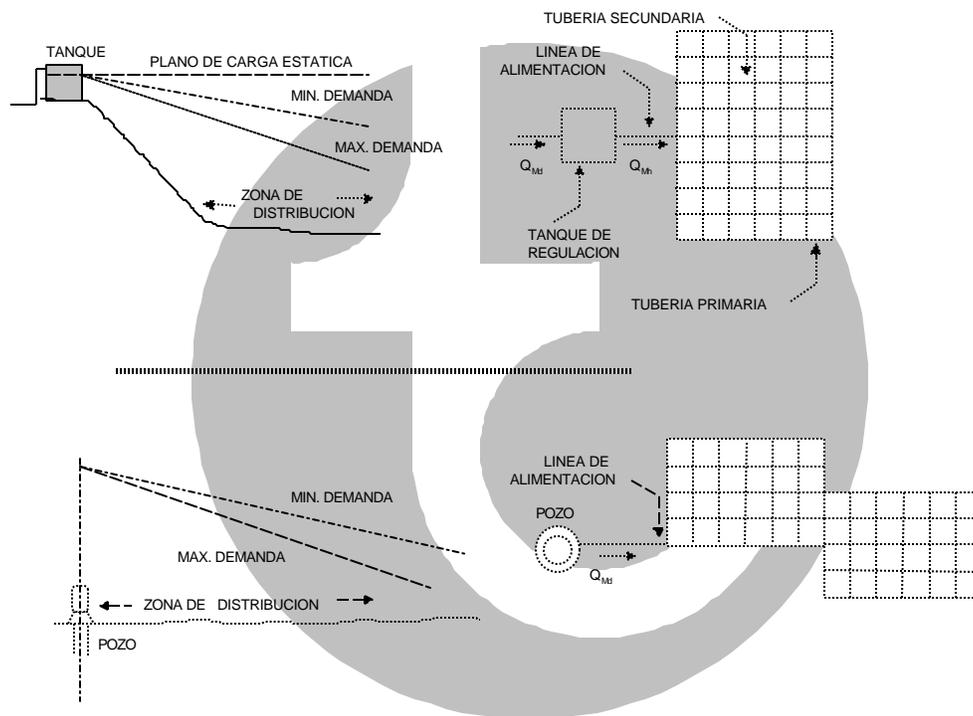


6.7.2. Componentes del sistema de distribución

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. 6.17. 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.

6.7.3. Presiones requeridas y velocidad de flujo

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



Cuadro 6.14. Presiones usuales en la red de distribución.

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

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.

6.7.4 Diseño de sistemas de distribución ramificados

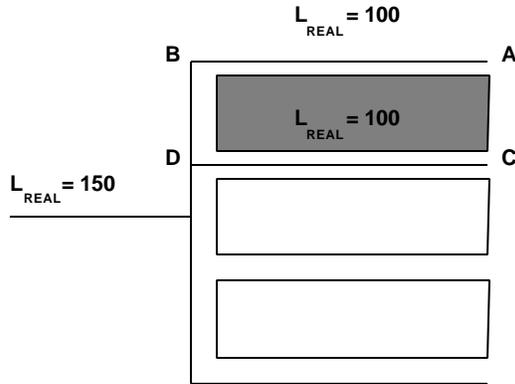
Los pasos generales para el diseño son los siguientes:

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.

Ejemplo 6.4.

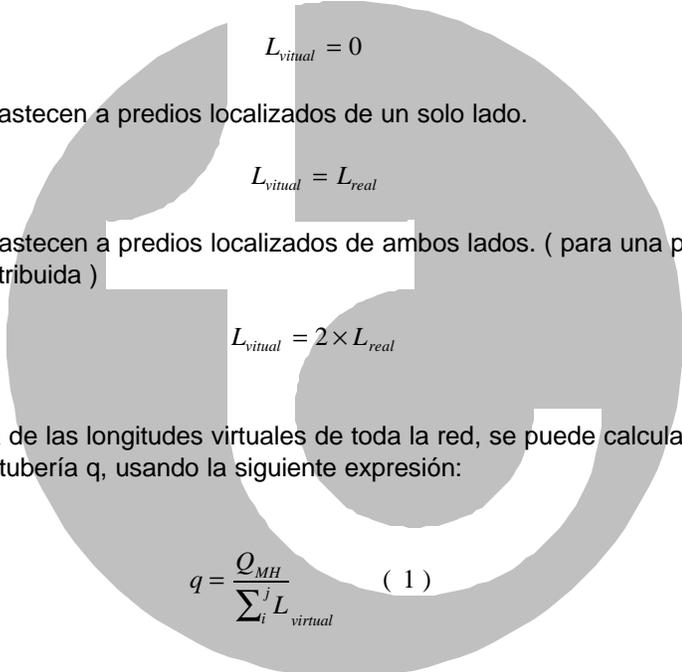




De la figura se deduce que el tramo B-A abastece por un solo lado, mientras que el tramo D-C que abastece por los dos lados deberá conducir más gasto. Si se tratara de una zona con la población uniformemente distribuida el tramo D-C conducirá el doble de gasto que el tramo B-A. Relacionado gastos con longitudes, parecería que el tramo D-C mide el doble de la longitud que el tramo B-A, pero en realidad esto no es cierto, por lo tanto se considera que su **longitud virtual** es de 200 y su longitud real de 100. El tramo B-A tiene una longitud virtual igual a su longitud real de 100. Del ejemplo podemos

concluir lo siguiente:

- Para las líneas de alimentación la longitud virtual es 0.
- Para tubos que abastecen a predios localizados de un solo lado.
- Para tubos que abastecen a predios localizados de ambos lados. (para una población uniformemente distribuida)



Al realizar la sumatoria de las longitudes virtuales de toda la red, se puede calcular el Coeficiente de gasto por metro de tubería q, usando la siguiente expresión:

$$q = \frac{Q_{MH}}{\sum_i L_{virtual}} \quad (1)$$

Donde:

- q = coeficiente de gasto por metro (lps/m)
- Q_{MH} = gasto máximo horario
- $\sum_i L_{virtual}$ = sumatoria de las longitudes virtuales de cada tramo de la red (m)

4. Numerar los cruces existentes de la red
5. Calcular el gasto propio de cada tramo de la red, multiplicando el coeficiente de gasto q por la longitud virtual del tramo de tubo.

$$Q_{propio} = q \times L_{virtual} \quad (2)$$



6. Partiendo del tramo más distante hasta el más cercano al depósito de regularización se hace la sumatoria de los gastos acumulados, tomando en cuenta los gastos de los tramos secundarios.
7. Determinar el diámetro de cada tramo, en base al gasto acumulado que debe conducir, considerándolo en el extremo o nudo terminal

Usando la fórmula (6.8) para una velocidad de 1.2 m/s (cuadro 6.1):

$$Q = A \times V \quad \rightarrow \quad A = \frac{pD^2}{4} \quad \rightarrow \quad Q = \frac{pD^2}{4} \times V$$



En unidades más convenientes tenemos, para una velocidad de 1.2 m/s :

$$D = 32.5735 \sqrt{Q}$$

En donde:

D = diámetro del tubo en mm

Q = Gasto acumulado del tramo en lps

El diámetro obtenido deberá ajustarse al diámetro comercial más próximo, normalmente se pasa al diámetro inmediato superior.

Hasta este punto se tiene asegurado el suministro, falta garantizar la presión suficiente.

8. Determinar el nudo de la red con la presión menos favorable. Para este propósito se deben tomar en cuenta los siguientes puntos

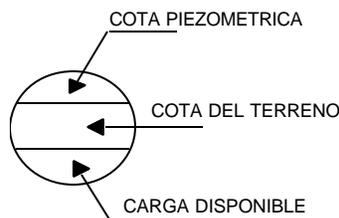
- Los más distante de la red
- Los de nivel topográfico más alto
- Los más distantes y más altos, simultáneamente

Al calcular las pérdidas de carga con las fórmulas de Manning o Hazen-Williams, se toma el que presente la mayor pérdida y este punto gobernará el diseño. En caso de no cumplir con las presiones requeridas se debe modificar el diseño variando diámetros o de ser posible elevar el tanque regularizador.

9. Ubicar las válvulas de seccionamiento, 2 en las intersecciones de tres tubo y 4 en las intersecciones de 4 tubos.

10. Dibujar el plano definitivo de la red de distribución, conteniendo los siguientes datos:

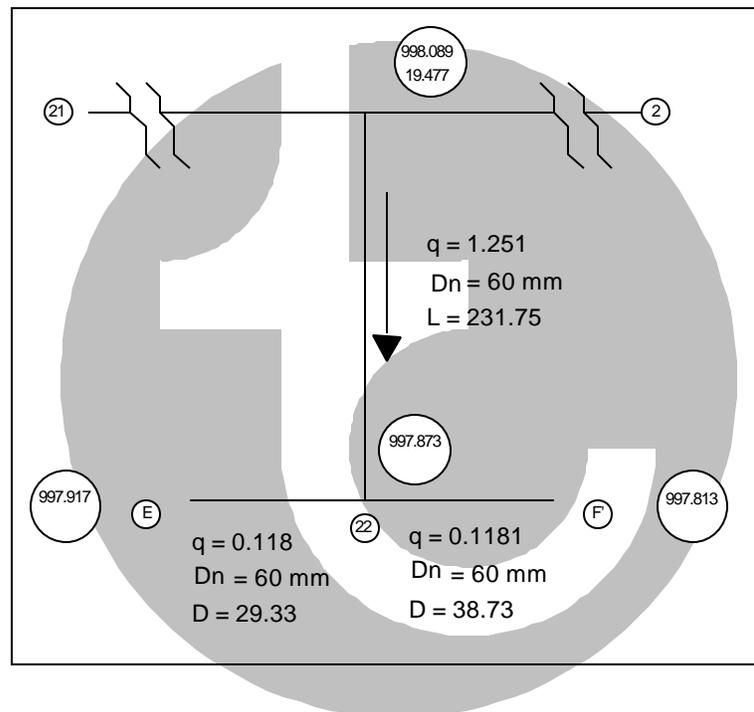
- Diámetros y longitudes de cada tramo
- Descripción de los cruceros, válvulas, codos, etc..
- En cada nudo un círculo con los siguientes datos



11. Se hace una lista de los diámetros y longitudes de tubería por cada diámetro, piezas especiales, válvulas, etc..
12. Para los cruceros es conveniente hacer planos a detalle de cada uno, esto facilitará estudiar debidamente las combinaciones de las piezas que lo forman y así seleccionar la más económica.

Ejemplo 6.5.

Calcular las pérdida de carga en los tramos 22 - 22', 22 - F y las cotas piezométricas en los puntos 22', E' y F'.



q = gasto tributario lps

D_n = diámetro nominal en mm.

L = distancia en m

→ = dirección del flujo

O = cota del terreno en metros carga disponible en metros

Utilizando la fórmula de Hazen-Williams usando el gasto acumulado se calculan las pérdidas, para facilitar el cálculo se recomienda el uso del siguiente formato, modificandolo según las necesidades:



Cuadro 6.15. Tabla de cálculo para red de distribución ramificada

Crucero	Tramo	Longitud (m)		Gastos (lps)		Diámetro (mm)		Perdidas hf (m)	Cotas		Carga Disponible (m)
		REAL	VIRT	PROP	ACUM.	TEO	COM		PIEZO	TERRE	

Para el tramo 22 - 22', tenemos:

$$Q = 1.251 + 0.118 + 0.118 = 1.487$$

Utilizando la fórmula de H-W para el cálculo de las pérdidas, (6.20)

$$H_f = \frac{1.21 \times 10^{10}}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.857} \times L$$

$$hf = \frac{1.21 \times 10^{10}}{(68.9)^{4.87}} \left(\frac{1.487}{150} \right)^{1.857} \times (231.75) = 0.601 \text{ m}$$

La cota piezométrica = 1017.566 - 0.601 = 1016.965

La carga disponible = 1016.956 - 997.873 = 19.092 m

Para los puntos restantes se procede de la misma manera, resultando:

La cota piezométrica = 1016.965 - 0.0010 = 1016.964

La carga disponible = 1016.964 - 997.917 = 19.047 m

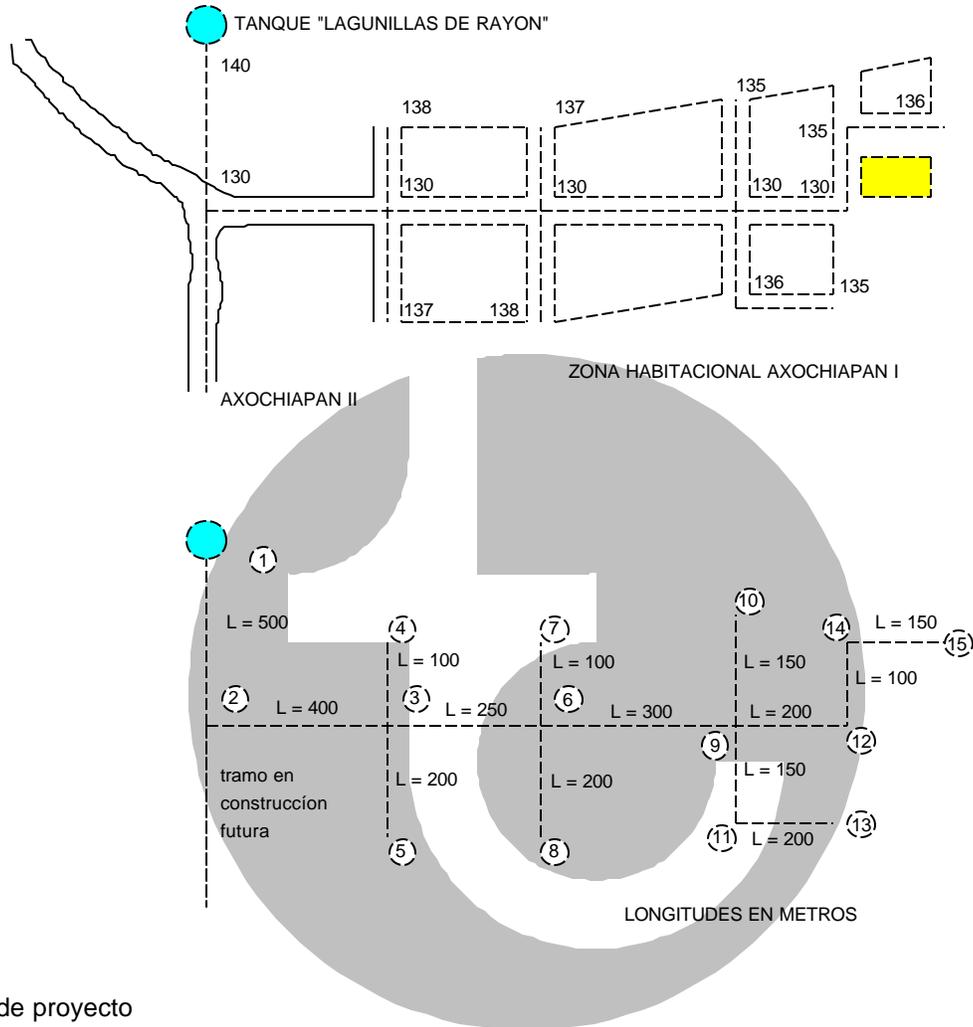
La cota piezométrica = 1016.965 - 0.0014 = 1016.964

La carga disponible = 1016.964 - 997.813 = 19.151 m

Crucero	Tramo	Longitud (m)		Gastos (lps)		Diámetro (pulg)		Perdidas hf (m)	Cotas		Carga Disponible (m)
		REAL	VIRT	PROP	ACUM.	TEO	COM		PIEZO	TERRE	
22									1017.566	998.089	19.477
22'	22 - 22'	231.75	-	1.251	1.485	2.5	2.5	0.909	1016.965	997.873	19.092
E'	22' - E'	29.33	-	0.118	0.118	2.5	2.5	0.0011	1016.964	997.917	19.047
F'	22' - F'	38.73	-	0.118	0.118	2.5	2.5	0.0014	1016.964	997.813	19.151

Ejemplo 6.6.

Diseño de una red abierta para un fraccionamiento, conforme a la siguiente figura



Datos de proyecto

Población de Proyecto: 8,000 habitantes (uniformemente repartida; casas tipo)

Dotación: 150 l/hab/día

Coefficiente de variación horaria: 1.5

Carga disponible en cada crucero entre 15 y 45 mca.

El tramo 1 - 2 inicialmente conducirá el gasto para 8000 habitantes, pero cuando entre en funcionamiento la segunda etapa llamada Axochiapan II se necesitará abastecer a 9000 personas más, por lo tanto este tramo deberá ser capaz de conducir el gasto suficiente para 17,000 habitantes. **Se instalará tubería de PVC**



HOJA DE CÁLCULO PARA REDES DE AGUA POTABLE ABIERTAS

Habitantes Totales = 8000 hab 9000 hab Segunda Etapa
 Dotación = 250 l/hab/día
 Coeficiente Variación Hor = 1.5
 Coeficiente de H.-W = 150

Crucero	Tramo		Longitud		Habitantes		Gasto lps	Diámetro mm		Pérdida de Carg	Cotas		Carga Disponibles
	De	a	Real	Virtual	Propios	Tributarios		Totales	Teórico		Comercial PVC	Piezo- Métrica	
15	14	15	150	300	649	0	649	54.65	60.0	1.313	150.43	136	14.43
14	12	100	200	432	649	0	1081	70.56	75.0	0.876	151.75	135	16.75
13	11	200	200	432	0	0	432	44.63	50.0	2.126	150.68	135	15.68
12	9	200	400	865	1081	0	1946	94.66	100.0	1.503	152.62	130	22.62
11	8	150	300	649	432	0	1081	70.56	75.0	1.314	152.61	136	16.81
10	6	150	300	649	0	0	649	54.65	60.0	1.313	152.81	135	17.81
9	6	300	600	1297	3676	0	4973	151.33	150.0	1.859	154.12	130	24.12
8	6	200	400	865	0	0	865	63.11	60.0	2.983	153.00	138	15.00
7	6	100	200	432	0	0	432	44.63	50.0	1.063	154.92	137	17.92
6	3	250	500	1081	6270	0	7351	184.00	200.0	1.003	155.99	130	25.99
5	3	200	200	432	0	0	432	44.63	50.0	2.126	154.66	137	17.66
4	3	100	100	216	0	0	216	31.55	32.0	1.769	155.22	138	17.22
3	2	400	0	0	8000	0	8000	191.94	200.0	1.877	156.99	130	26.99
	A-II	2	=====	0	0	9000	9000	203.58	200.0	0.000	=====	=====	0.00
2	1	500	0	0	17000	0	17000	279.80	315.0	1.547	158.86	130	28.86
1											160.41	140	20.41



6.7.5. 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 utilizando el criterio de la longitud virtual que se estudio en el ejemplo 1.3. 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 y la ecuación 3
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.



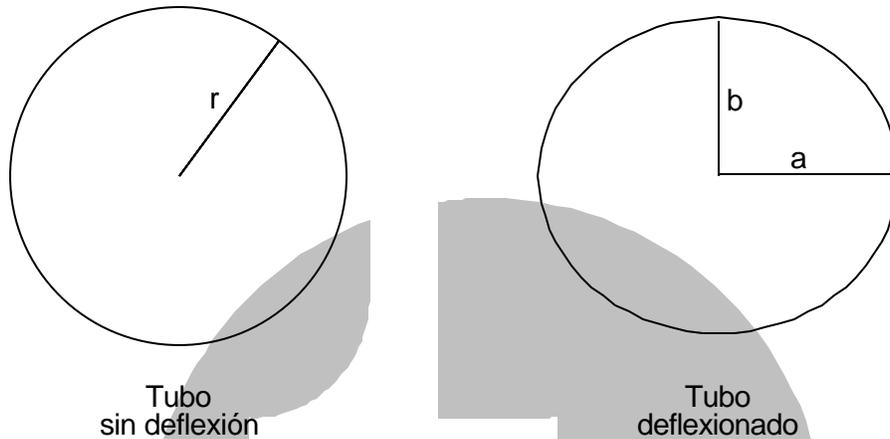
MÉTODO	DESCRIPCION
De relajación	Es un procedimiento de ensayo error en el que se aplican correcciones sistematicas a: 1) un conjunto de gastos asumidos 2) un conjunto inicial de cargas asumidas, hasta que la red este balanceada hidráulicamente p.ej. Hardy-Cross
De secciones	La malla del sistema de distribución 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 evalua 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.



6.8. 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 6.18. 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:

$$C = \pi D \quad (6.37)$$

$$C_2 = 4aE(e) \quad (6.38)$$

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (6.39)$$

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. (32)

$$Ae = \pi \times a \times b \quad (6.40)$$

Donde:

- Ae = área de la elipse (m²)
- a = Radio largo de la elipse (m)
- b = Radio corto de la elipse (m)

La fórmula 6.5 muestra la relación para obtener el área del círculo.



El área del tubo deflectado se calculó asumiendo que los perímetros del tubo deflectado y sin deflexión son iguales ($C_2 = C$) ⁽³²⁾ el cuadro 6.14 muestra el efecto de la deflexión en el área y el gasto.

Cuadro 6.16. Reducción de la sección transversal del tubo y el gasto debido a la deflexión.

DEFLEXION (%)	% REDUCCION DE LA SECCION TRANSVERSAL DE FORMA CIRCULAR A ELIPTICA	% REDUCCION 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

Fuente: Ref. (UNIBELL, 1982)



6.9. 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.

6.9.1. 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 (páginas 20-28).

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.

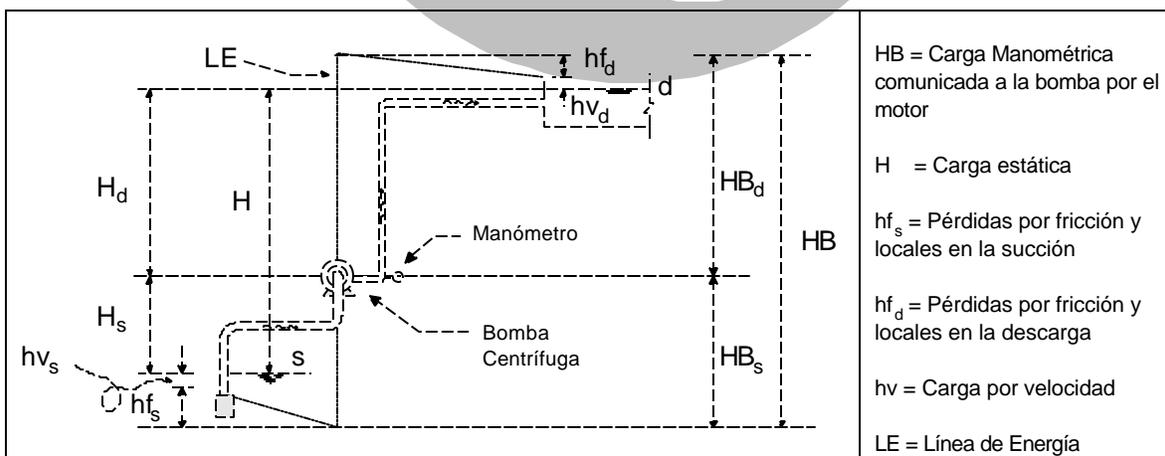
Caudal o Gasto: Es el volumen del fluido de trabajo que fluye por unidad de tiempo. En una bomba se refiere a la cantidad de agua que es capaz de entregar para una condición de carga dada.

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.

6.9.2. 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 (ecuación 6.2), para ello nos referiremos a la siguiente figura:

Fig. 6.19. 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:



$$Z_s + \frac{P_s}{g} + \frac{V_s^2}{2g} + HB = Z_d + \frac{P_d}{g} + \frac{V_d^2}{2g} + ht_{s-d} \quad (6.41)$$

Siendo:

HB = Carga de bombeo (m)
 ht_{s-d} = Pérdidas de carga en la succión y la descarga (m)

$$ht_{s-d} = hf_s + hf_d = f_s + hx_s + f_d + hx_d$$

hf_s = Pérdidas de carga en la succión (m)
 hf_d = Pérdidas de carga en la descarga (m)
 f_s = Pérdidas de carga por fricción en la succión (m)
 f_d = Pérdidas de carga por fricción en la descarga (m)
 hx_s = Pérdidas de carga locales (por conexiones) en la succión (m)
 hx_d = Pérdidas de carga locales (por conexiones) en la descarga (m)

Todos los demás términos definidos en el apartado 6.1.

La carga por presión $hp = P/\gamma$ se elimina en ambos miembros de la ecuación por estar expuestos a la presión atmosférica. La carga por velocidad $hv = V^2/2g$ en el cárcamo de bombeo tiende a cero, en la descarga si la tubería está ahogada (figura anterior) la hv también tiende a cero; si la descarga es libre es necesario calcular el valor de hv . 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 (6.41) queda de la siguiente manera, al despejar para la carga de bombeo (HB) en ambos casos:

Descarga ahogada:

$$HB = \Delta Z + ht_{s-d} \quad (6.42)$$

Descarga libre:

$$HB = \Delta Z + hv_d + ht_{s-d} \quad (6.43)$$

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)
 $\Delta Z = Z_d - Z_s$
 hv_d = Carga por velocidad de la tubería de descarga (m)
 ht_{s-d} = Pérdidas de carga por fricción y locales entre la succión y la descarga (m)

De la figura 6.18. 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 :

$$HB = HB_d - HB_s \quad (6.44)$$

$$HB_d = H_d + hv_d + hf_d \quad (6.45)$$

$$HB_s = -H_s - hf_s \quad (6.46)$$



La carga por bombeo queda:

$$HB = (H_d + H_s) + hv_d + (hf_s + hf_d) \quad (6.47)$$

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)

$hv_d =$ Carga por velocidad en la descarga (m) ($hv_d = 0$ para descarga ahogada)

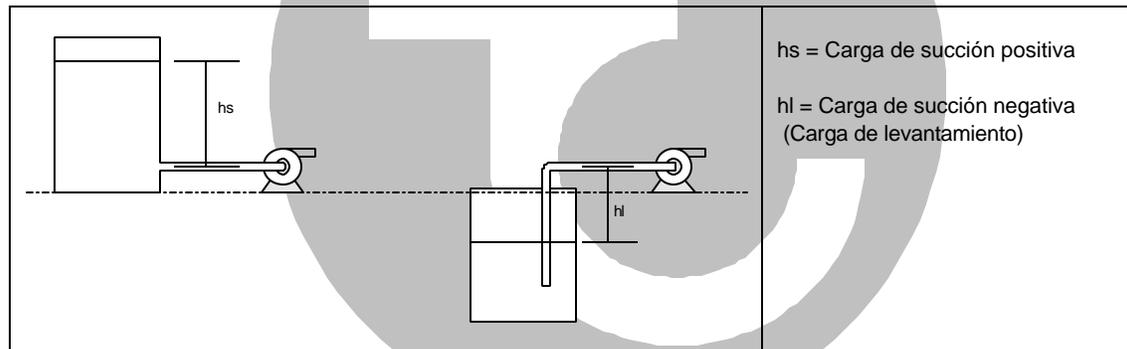
$(hf_s + hf_d) = ht_{s-d} =$ Pérdidas de carga en la succión y la descarga (m)

Por lo que la fórmula (6.47) es igual a las fórmulas (6.42) y (6.43)

6.9.3. Carga Neta Positiva de Succión (CNPS) [Net Positive Suction Head - NPSH-]

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. 6.20. Posición del tanque en la succión



El CNPS disponible puede ser calculada con la siguientes ecuaciones:

a) Para carga de succión positiva (hs)

$$CNPS_{disp} = hs - hf_s + P_{atm} - P_v \quad (6.48)$$

Donde:

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

$hs =$ Carga de succión positiva (m)

$hf_s =$ Pérdidas de carga por fricción y locales en la descarga (m)

$P_{atm} =$ Presión atmosférica (m)

$= P_{bar} / gs$

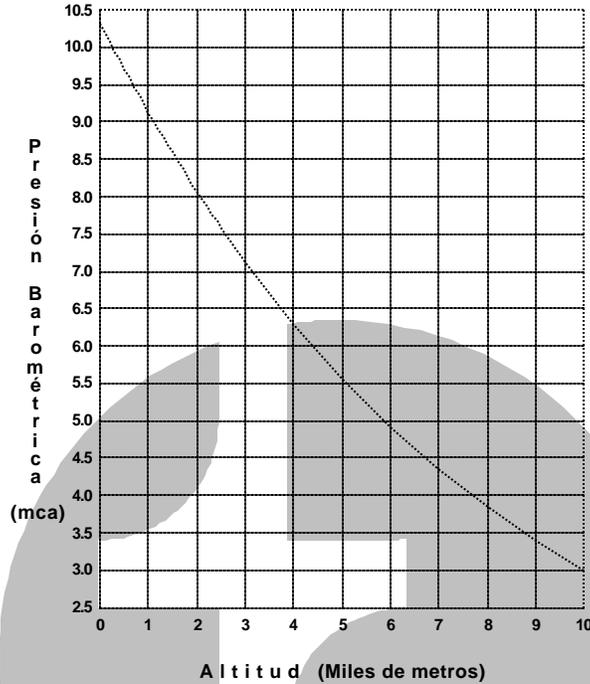
$P_{bar} =$ Presión manométrica (m) (Fig. 6.20., cuadro 6.17.)

$gs =$ Gravedad específica (adim) (cuadro 6.18.)

$P_v =$ Presión de vapor (m)



Fig. 6.21. Presión barométrica para diferentes alturas sobre el nivel del mar



Cuadro 6.17. Presión barométrica para diferentes alturas sobre el nivel del mar

Altitud	Presión barométrica		Altitud	Presión barométrica	
	Msnm	bar / mca		msnm	bar / mca
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 6.18. Presión de vapor y gravedad específica (gs) a diferentes temperaturas

Temperatura		Presión de vapor		gs	Temperatura		Presión de vapor		gs
°F	°C	Pies	Metros		°F	°C	Pies	Metros	
60	15.6	0.6	0.18	0.999	172	77.8	14.9	4.54	0.973
70	21.1	0.9	0.27	0.998	173	78.3	15.2	4.63	0.973
80	26.7	1.2	0.37	0.997	174	78.9	15.6	4.75	0.972
85	29.4	1.4	0.43	0.996	175	79.4	15.9	4.85	0.972
90	32.2	1.6	0.49	0.995	176	80.0	16.3	4.97	0.972
100	37.8	2.2	0.67	0.993	177	80.6	16.7	5.09	0.971
110	43.3	3.0	0.91	0.991	178	81.1	17.1	5.21	0.971
120	48.9	3.9	1.19	0.989	179	81.7	17.4	5.30	0.971
130	54.4	5.0	1.52	0.986	180	82.2	17.8	5.43	0.970
140	60.0	6.8	2.07	0.983	181	82.8	18.3	5.58	0.970
150	65.6	8.8	2.68	0.981	182	83.3	18.7	5.70	0.970
151	66.1	9.0	2.74	0.981	183	83.9	19.1	5.82	0.969
152	66.7	9.2	2.80	0.980	184	84.4	19.5	5.94	0.969
153	67.2	9.4	2.87	0.980	185	85.0	20.0	6.10	0.969
154	67.8	9.7	2.96	0.979	186	85.6	20.4	6.22	0.968
155	68.3	9.9	3.02	0.979	187	86.1	20.9	6.37	0.968
156	68.9	10.1	3.08	0.979	188	86.7	21.4	6.52	0.967
157	69.4	10.4	3.17	0.978	189	87.2	21.8	6.64	0.967
158	70.0	10.7	3.26	0.978	190	87.8	22.3	6.80	0.966
159	70.6	10.9	3.32	0.978	191	88.3	22.8	6.95	0.966
160	71.1	11.2	3.41	0.977	192	88.9	23.3	7.10	0.965
161	71.7	11.5	3.51	0.977	193	89.4	23.8	7.25	0.965
162	72.2	11.7	3.57	0.977	194	90.0	24.3	7.41	0.965
163	72.8	12.0	3.66	0.976	195	90.6	24.9	7.59	0.964
164	73.3	12.3	3.75	0.976	196	91.1	25.4	7.74	0.964
165	73.9	12.6	3.84	0.976	197	91.7	25.9	7.89	0.963
166	74.4	12.9	3.93	0.975	198	92.2	26.6	8.11	0.963
167	75.0	13.3	4.05	0.975	199	92.8	27.1	8.26	0.963
168	75.6	13.6	4.15	0.974	200	93.3	27.6	8.41	0.963
169	76.1	13.9	4.24	0.974	201	93.9	28.2	8.60	0.962
170	76.7	14.2	4.33	0.974	203	95.0	29.4	8.96	0.962
171	77.2	14.5	4.42	0.973	204	95.6	30.0	9.14	0.961

a) Para carga de succión negativa (hs)

$$CNPS_{disp} = P_{atm} - hl - hf_s - Pv \quad (6.49)$$

Donde:

- CNPS_{disp} = Carga Neta Positiva de Succión disponible (m)
- hl = Carga de succión negativa (m)
- hf_s = Pérdidas de carga por fricción y locales en la succión (m)
- P_{atm} = Presión atmosférica (m)
- = P_{bar} /gs
- P_{bar} = Presión manométrica (m) (Fig. 6.20., cuadro 6.17.)
- gs = Gravedad específica (adim) (cuadro 6.18.)
- Pv = Presión de vapor (m)



La $CNPS_{disp}$ debe ser menor a la $CNPS_{disp}$ 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.

6.9.4. Curvas características de las bombas

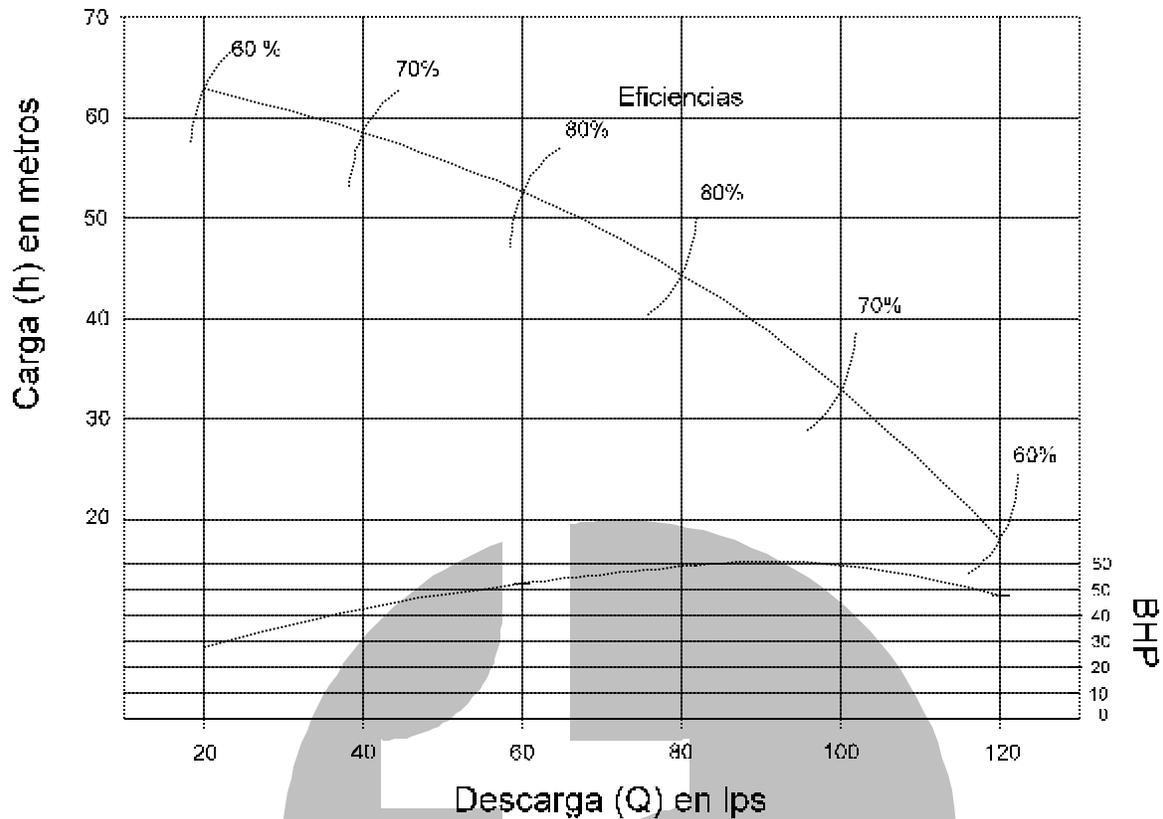
Las curvas características describen el funcionamiento de las bombas, dichas curvas consisten en:

- (I) 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.
- (II) 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.
- (III) 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
- (IV) Curva de Carga Neta Positiva de Succión requerida vs Descarga ($CNPS_{reg}$ 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. 6.22. Curvas características de una bomba





6.9.5. 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 6.19., en el cuadro 6.20. muestra la capacidad de los motores y los fusibles necesarios según su potencia.

Cuadro 6.19. Eficiencia en motores típicos (%)
60 ciclos

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 6.20. Tamaño de los fusibles y los amperes aproximados de carga completa de los motores

Determinación de Callos 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

El siguiente cuadro sirve para conocer la capacidad de corriente de los cables según el tipo de aislamiento, las figuras 6.22. y 6.23. sirven para seleccionar el tipo de cable AWG para diferentes capacidades de los motores.

Cuadro 6.21. Capacidad de corriente de conductores de cobre aislados (amperes)

Temperatura máxima del aislamiento	60° C		75° C	
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

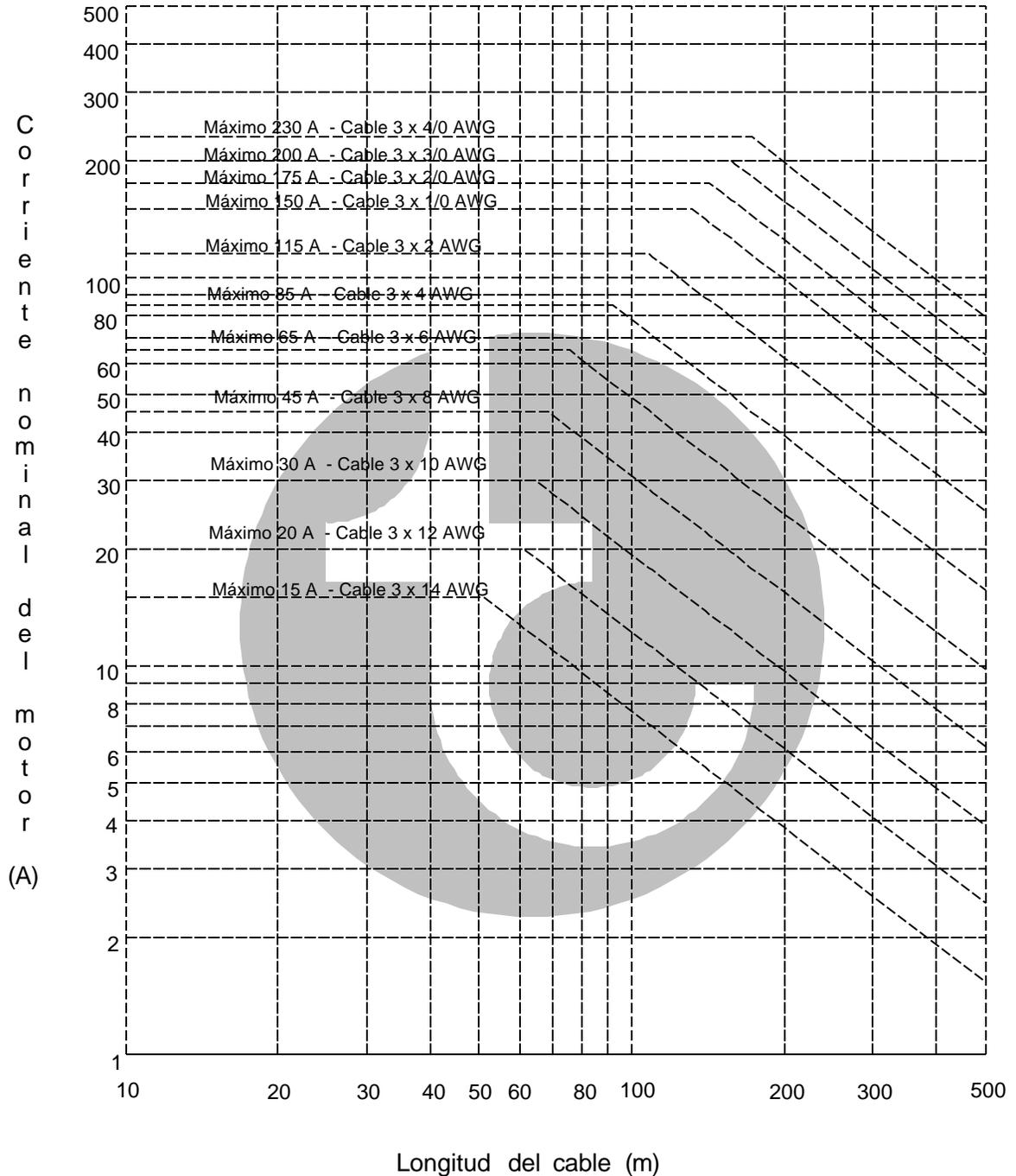
6.9.6. Equipos de pozo profundo.

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 las 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. 6.22. 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 %)



Ejemplo de uso: Se tiene un motor para un equipo de bombeo de 75 HP que trabaja a una tensión de 220 V y requiere 125 A (cuadro 6.20.) que tipo de conductor AWG se requiere para una longitud entre el transformador y motor de 30 m, 100 m y 200 m.

Solución: Entrando a la gráfica 6.22. para 30 m se requiere conductor AWG 1/0, para 100 m, AWG 1/0 y para 200 AWG 2/0

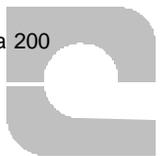
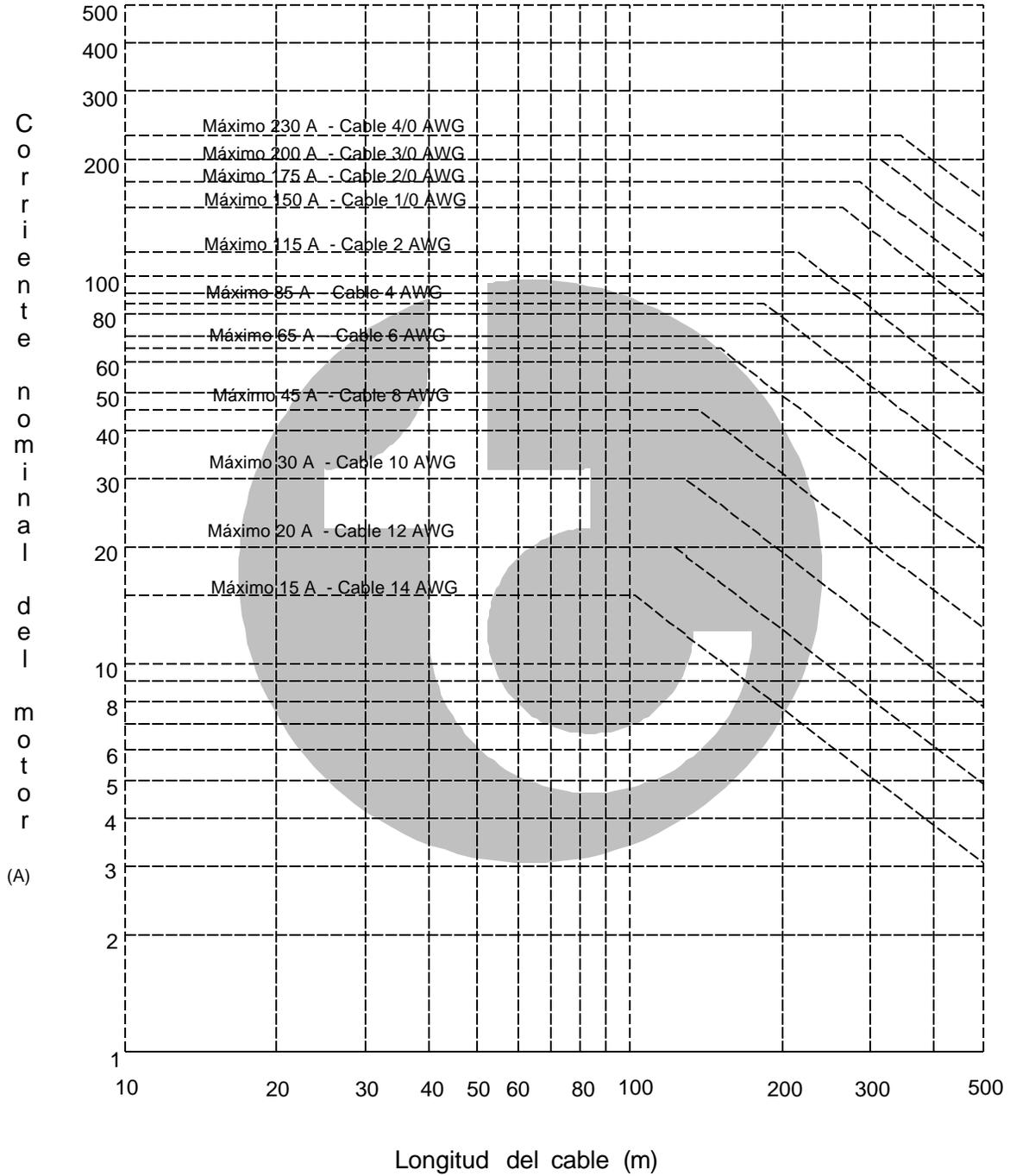


Fig. 6.23. Capacidad de conducción de los conductores para una tensión de 440 voltios, con aislamiento para temperatura de operación máxima de 75° C (Pérdida de tensión máxima de 3 %)



Ejemplo de uso: Se tiene un motor para un equipo de bombeo de 20 HP que trabaja a una tensión de 440 V y requiere 26 A (cuadro 6.20.) que tipo de conductor AWG se requiere para una longitud entre el transformador y motor de 50 m y de 200 m.

Solución: Entrando a la gráfica 6.23. para 50 m se requiere conductor AWG 10 y para 200 m, AWG 8

- La disponibilidad de energía eléctrica: Que influye en el tipo de motor a usar ya sea de combustión interna o eléctrico. Cuando la fuente de agua se encuentra alejada de los centros de población por lo que la disponibilidad de energía eléctrica se hace difícil, para estos casos se requieren motores de combustión interna.
- El aspecto económico: Referente a la capacidad de crédito, las tasas de interes, el presupuesto destinado a la obra, y la relación costo beneficio del equipo seleccionado.

Este último aspecto es el más importante ya que se deben analizar los costos iniciales (costo de la bomba, el motor, el tendido de los cables, la perforación del pozo, la tubería de conducción y todas las obras civiles inherentes al sistema de agua potable); los costos fijos (como el mantenimiento, reparación y ampliaciones a futuro) y los costos variables (sueldos del personal, costo de la energía eléctrica, costo del combustible, tasas de interés cuando se tiene un crédito).





Capítulo 7
Comportamiento Mecánico



7.- COMPORTAMIENTO MECÁNICO.

7.1. Rigidez de la tubería.

La rigidez es la propiedad inherente a los tubos de oponer resistencia a ser deflexionados. La relación siguiente es recomendada por ASTM-D-2412 para el cálculo de la rigidez de la tubería medida a un valor del 5% de deflexión. (32)

$$P_s = 4.47 \frac{E}{(RD - 1)^3} \quad (7.1)$$

Donde:

- P_s = 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)

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

- DE_{prom} = Diámetro externo promedio (mm)
 e_{min} = Espesor mínimo de pared (mm)

Aplicando la fórmula anterior se obtiene la siguiente rigidez según el RD de la tubería:

Cuadro 7.1. Rigidez de la tubería Duralón S.I.

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

Como se puede observar la rigidez del tubo aumenta conforme disminuye el RD esto es que la pared del tubo es más gruesa.

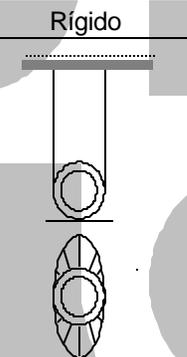
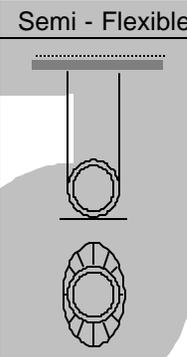
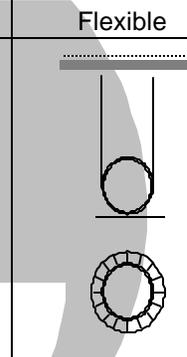
Se denomina tubo flexible, aquel que permite deflexiones de más de un 3% sin que haya fractura, y tubo rígido, aquel que no permite deflexiones mayores a 0.1 % sin que haya fractura (29). Las principales diferencias de las tuberías rígidas, semi-flexible y flexible se muestran en la figura 7.1. (29)



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 rígrado.
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."

"Estas son las diferencias inherentes entre el comportamiento del tubo rígrado y el comportamiento del tubo flexible; es por ésto que la teoría de las cargas combinadas sobre tubos rígrados (Schlick), no se debe aplicar a las tuberías flexibles."

Figura 7.1. Conceptos de diseño para varios tipos de tubos enterrados

	Rígrado	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

Fuente: Referencia (9)

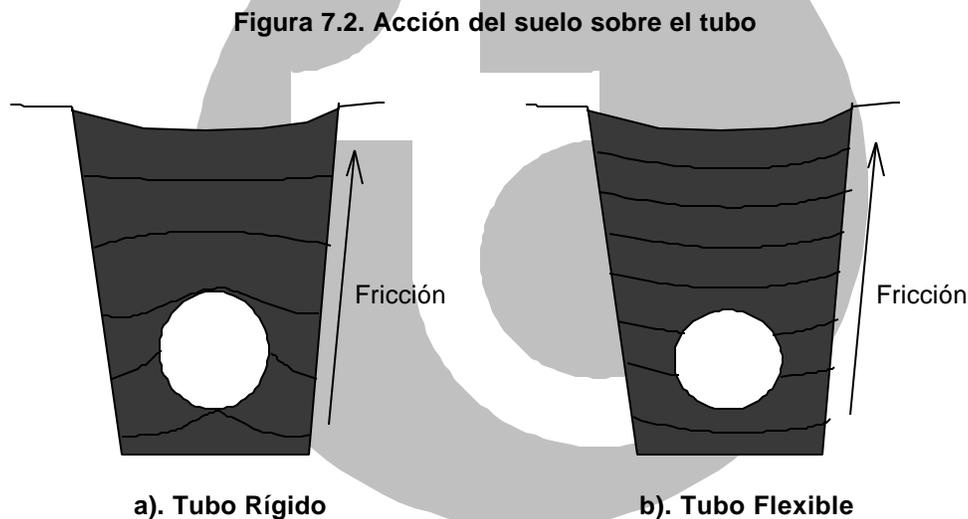
PEAD: Polietileno de alta densidad, PP: Polipropileno



7.2. 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 (ver sección 6.8.). 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.



7.3. 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. Para los métodos de cálculo de deflexión que se verán en el siguiente apartado se usan camiones normalizados.



7.3.1. 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:

Cuadro 7.2. Pesos de diferentes vehículos automotores

Tipo de vehículo	Peso total (ton)	Peso de ejes cargados (ton)				
		Tractor		Semiremolque	Remolque	
		Delantero	Trasero		Delantero	Trasero
Automóvil A2	2	1.0 (s)	1.0 (s)			
Autobús 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-R4	77.5	5.5 (s)	18.0 (t)	18.0 (t)	18.0 (t)	18.0 (t)

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

Fuente: referencia (20)

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: (20)

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.





7.4. 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 comunmente cargas muertas, o aquellas que recibe del tráfico vehicular denominadas cargas vivas. En el presente capítulo se presentarán las fórmulas más usuales. Un ejemplo del cálculo se muestra en el anexo.

La mayoría de las fórmulas se basan en la siguiente expresión general:⁽³³⁾

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

7.4.1. Teoría de Deflexión de Spangler

Una de las relaciones de mayor uso para el cálculo de deflexión es la de Spangler llamada comunmente "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:⁽³²⁾

$$\frac{\Delta y}{D} \% = 100 \frac{D_1 K W_c + K W_{sc}}{\frac{2 E}{3 (RD - 1)^3} + 0.061 E'} \quad (7.2)$$

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)
- D_1 = Factor de deflexión a largo plazo (adim, Spangler recomienda un $D_1 = 1.5$)
- RD = Relación de dimensiones (adim) ver fórmula 3.1

Nota: En el tubo Duralón Sistema Métrico se hace necesario aplicar la fórmula 3.1 con los datos proporcionados en el cuadro 4.2. del capítulo 4.

Las cargas muertas se calculan con la siguiente relación, desarrollada por Martson: ⁽³³⁾

$$W_c = C_d \gamma B d \quad (7.3)$$

Donde:

- γ = Densidad del relleno (MN/m³ ó kg/cm³)
- Bd = Ancho de la zanja (m ó cm)
- C_d = Coeficiente de carga para conductos instalados en zanjas (adim)
y se obtiene con la siguiente expresión:

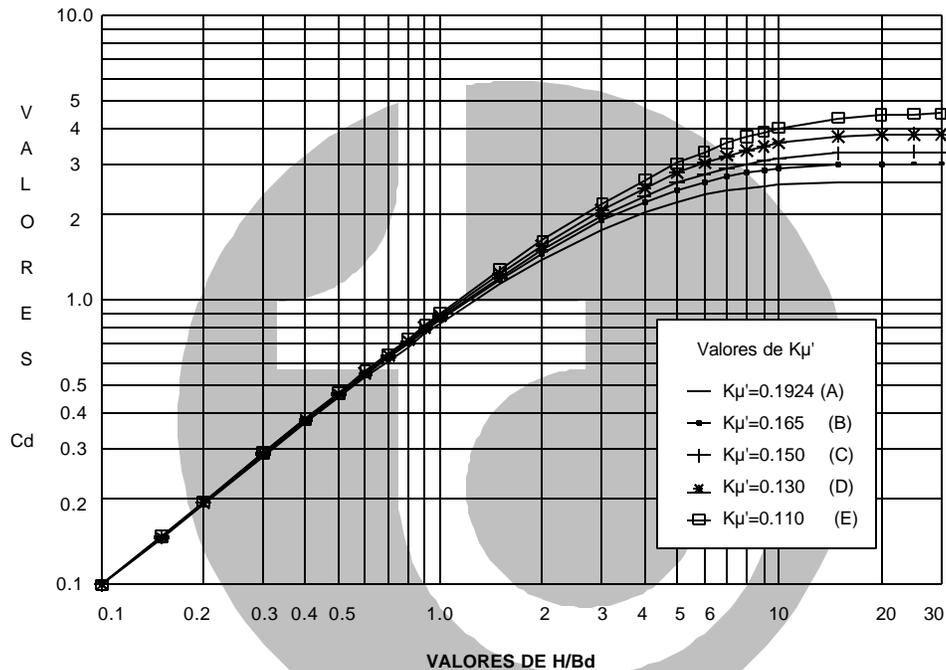


$$Cd = \frac{1 - e^{-2 k m \frac{H}{Bd}}}{2 k m} \quad (7.4)$$

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 7.3. Valores del Coeficiente Cd para usarse en la fórmula (7.3) (fuente: Ref. (32))



- (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, la cual es una modificación a la teoría de Boussinesq.(33)

$$W_{sc} = C_s \frac{PF'}{L DE} \quad (7.5)$$

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)



Cuadro 7.3. Factor de impacto vs Profundidad de relleno

Profundidad de Enterramiento (m)	Carreteras	Vías de 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

Nota: Para propósitos prácticos se puede tomar un valor de 1.5 excepto en cruces de vías de FF. CC.
Fuente : Ref. (32)

Cs = Coeficiente de carga de ruedas (adim)

$$Cs = 1 - \frac{2}{p} \left(\operatorname{sen}^{-1} \left(H \sqrt{\frac{F}{(A^2 + H^2)(B^2 + H^2)}} \right) - \frac{ABH}{\sqrt{F}} \left(\frac{1}{(A^2 + H^2)} + \frac{1}{(B^2 + H^2)} \right) \right) \quad (7.7)$$

Donde:

$$A = L / 2$$

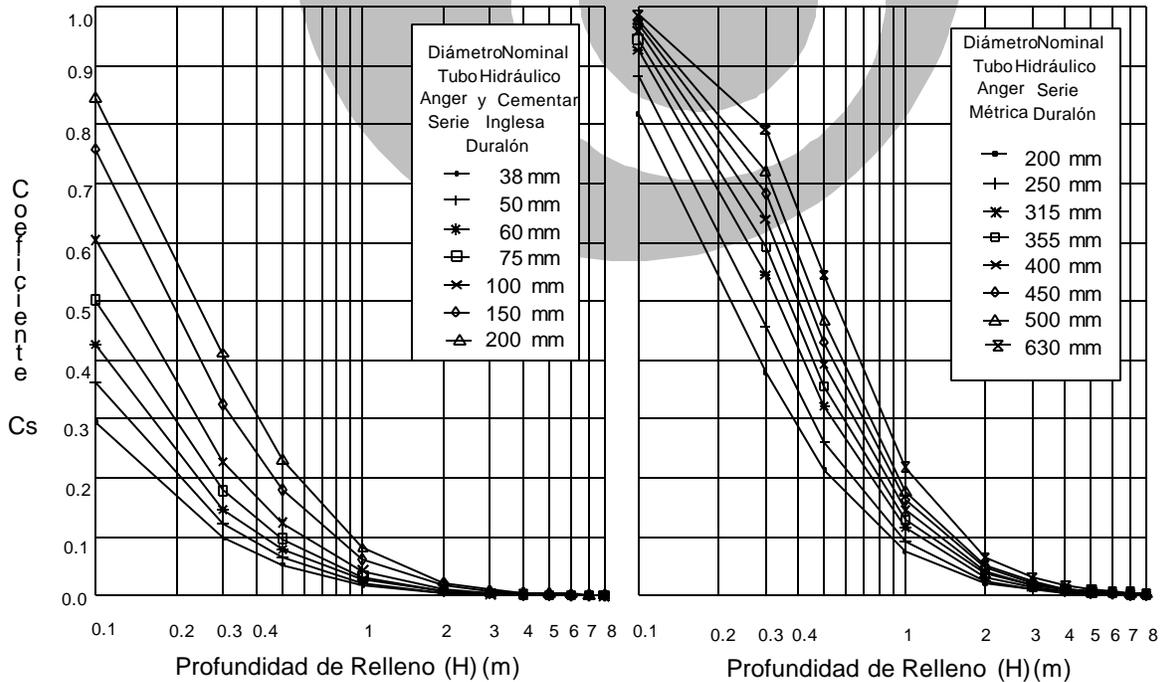
$$B = DE / 2$$

$$F = A^2 + B^2 + H^2$$

L = Longitud efectiva (m)

H = Profundidad de relleno (m)

Figura 7.4. Valor del Coeficiente Cs para usarse en la fórmula (7.6)



Nota: Para fines de cálculo y para tubo de 160 mm Serie Métrica se puede tomar el dato de Cs del tubo de 150 mm Serie Inglesa.

7.4.2. 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 ⁽²⁷⁾. Las normas ASTM D-2487 y D-2488 muestran la clasificación de suelos y el método visual-manual de clasificación respectivamente (ver referencia ⁽³²⁾). La clasificación SUCS se muestra a continuación. ⁽²⁷⁾, ⁽³²⁾. Además muestra la clasificación de la Unibell Plastics Pipe Association en grupos de relleno.

Cuadro 7.4. Principales tipos de suelos (SUCS)

Símbolos del Grupo		Clasif.	Nombres típicos
Usual en México	Usual en EE.UU.	Unibell	
-	-	Clase 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,
Gp	GW	Clase II	Gravas bien graduadas; mezclas de grava y arena; pocos o ningún finos.
Gm	GP		Gravas mal graduadas; mezclas de grava y arena; pocos o ningún finos.
GL	GM	Clase III	Gravas limosas; mezclas de grava y limo mal graduadas.
GB	GC	Clase II	Gravas arcillosas; mezclas de grava, arena y arcilla mal graduadas.
Ab	SW		Arenas bien graduadas; arenas gravosas; pocos o ningún finos.
Am	SP	Clase III	Arenas mal graduadas; arenas gravosas; pocos o ningún finos.
AL	SM		Arenas limosas; mezclas de arena y limo mal graduados.
AB	SC	Clase IV	Arenas arcillosas; mezclas de arena y arcilla mal graduadas.
Lp	ML		Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca; arenas finas limosas o arcillas ligeramente plásticas
Bp	CL	Clase V	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media; arcillas gravosas; arcillas arenosas; arcillas limosas; arcillas pobres.
Op	OL		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
Lc	MH	Clase IV	Limos inorgánicos; suelos micáceos o diatomáceos arenosos finos o limosos, limos elásticos.
Bc	CH		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad; arcillas francas muy comprensibles.
Oc	OH	Clase V	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta muy comprensibles.
T	PT	Clase V	Turba y otros suelos altamente orgánicos en estado de descomposición.

No recomendable para usarse como relleno

Fuente: Ref. (27), (32)

La Unibell Plastic Pipe Association ⁽³²⁾ hace una agrupación de los tipos de suelos los cuales son mencionados en el cuadro 7.3. con fines de usarlos de relleno en las zanjas, los subdivide en cinco clases tomando en cuenta sus propiedades mecánicas.



7.4.2.1. 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'. (32)

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 7.5.

**Cuadro 7.5. Valores promedio del módulo de reacción del suelo (E')
(Para la Deflexión inicial en tubos flexibles)**

TIPO DE SUELO PARA ENCAMADO DE TUBERIAS (SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS - SUCS-) (1)	E' según el grado de compactación del encamado			
	A VOLTEO (2)	LIGERO, Proctor <85% Densidad relativa <40% (3)	MODERADO, Proctor 85% - 95 % Densidad relativa 40% - 70% (4)	ALTO, Proctor >95% Densidad relativa >70% (5)
Suelos bien graduados (LL>50) ^b , Suelos con media a alta plasticidad, CH, MH, CH-MH	Use E' = 0			
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/cm ² 50 PSI 0.35 MN/m ²	14.06 kg/cm ² 200 PSI 1.38 MN/m ²	28.13 kg/cm ² 400 PSI 2.76 MN/m ²	70.32 kg/cm ² 1000 PSI 6.90 MN/m ²
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, SC ^c conteniendo más del 12 % de finos	7.03 kg/cm ² 100 PSI 0.69 MN/m ²	28.13 kg/cm ² 400 PSI 2.76 MN/m ²	70.32 kg/cm ² 1000 PSI 6.90 MN/m ²	140.65 kg/cm ² 2000 PSI 13.80 MN/m ²
Suelos de partículas gruesas con pocos o sin finos GW, GP, SW, SP ^c conteniendo menos del 12% de finos	14.06 kg/cm ² 200 PSI 1.38 MN/m ²	70.32 kg/cm ² 1000 PSI 6.90 MN/m ²	140.65 kg/cm ² 2000 PSI 13.80 MN/m ²	210.97 kg/cm ² 3000 PSI 20.70 MN/m ²
Roca triturada	70.32 kg/cm ² 1000 PSI 6.9 MN/m ²	210.97 kg/cm ² 3000 PSI 20.70 MN/m ²	210.97 kg/cm ² 3000 PSI 20.70 MN/m ²	210.97 kg/cm ² 3000 PSI 20.70 MN/m ²
Precisión en términos de porcentaje de deflexión ^d	± 2	± 2	± 1	± 0.5

Fuente : Ref (32)

^a Norma ASTM D-2487

^b LL = Límite líquido

^c O cualquier suelo en el límite que comience con esos símbolos (p.ej. GM-GC, GC-SC)

^d Para ± 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 7.6. presenta una guía aproximada para estimar el grado de compactación alcanzado según el método utilizado y el cuadro 7.7. el módulo de reacción del suelo E' según la clase de suelo y la compactación Proctor dada.

Cuadro 7.6. Guía aproximada para estimar el rango del grado de compactación vs la clase y el método de relleno como porcentaje Proctor o de la Densidad Relativa *, para materiales granulares**

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

Fuente: Ref. (32)

* 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.

Cuadro 7.7. Porcentaje Proctor y Módulo de reacción del suelo (E') para las diferentes clases de suelo

Clase de relleno (Clasificación UNIBELL)	Rango de Densidad Proctor %	Módulo de reacción del Suelo (kg/cm ² , PSI y MN/m ²)
I	-	210.97 - 3,000 - 20.70
II	85-95	140.65 - 2,000 - 13.80
	75-85	70.32 - 1,000 - 6.90
	65-75	14.06 - 200 - 1.38
III	85-95	70.32 - 1,000 - 6.90
	75-85	28.13 - 400 - 2.76
	65-75	7.03 - 100 - 0.69
IV	85-95	28.13 - 400 - 2.76
	75-85	14.06 - 200 - 1.38
	65-75	3.52 - 50 - 0.69
V	CLASE DE SUELO NO RECOMENDADA	

Fuente: Ref (32)

Nota: El porcentaje de la densidad Proctor de acuerdo a ASTM 698



Ejemplo 7.1.

Se va a instalar una tubería de PVC Duralón de 630 mm de diámetro (24") Clase 7 a 5 m de profundidad a lomo de tubo, se hizo el análisis granulométrico del que resultaron dos suelos principales: Gravas bien graduadas, Gp (suelo 1) y Arenas limosas, AL (suelo 2). Las densidades son respectivamente, 1700 kg/m³ y 1900 kg/m³. ¿Cuál será la deflexión que presentará el tubo para un grado de compactación de 65 - 75 %, de 75 - 85% y de 85 - 95 % Proctor?

Solución.

Tomando el cuadro 7.4. de clasificación de suelos se observa que el suelo Gp es clase II y el suelo AL corresponde a la clase III. Los valores de k_{μ} para esas clases según la figura 7.3. son de 0.165 y 0.150 respectivamente.

El factor de impacto para 5 m de profundidad a lomo de la tubería para carreteras es de 1.0 (cuadro 7.3)

El ancho de zanja recomendado para tubería de 630 mm es de 1.05 m (cuadro 8.4., capítulo 8 - recomendados para tubería de PVC por el ITP-)

Cálculo de cargas muertas:

$$H/Bd = 5m/1.05 m = 4.76$$

Entrando a la gráfica 7.3. con este valor resulta un coeficiente $Cd_1 = 2.4$ y $Cd_2 = 2.53$. las cargas muertas serán para cada tipo de suelo de: (fórmula 7.3.)

$$Wc_1 = (2.4) (1,700 \text{ kg/m}^3) (1.05 \text{ m}) = 4,284.5 \text{ kg/m}^2 = 0.4284 \text{ kg/cm}^2$$

$$Wc_2 = (2.53) (1,900 \text{ kg/m}^3) (1.05 \text{ m}) = 5,047.4 \text{ kg/m}^2 = 0.5047 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de cargas vivas:

Primeramente se calcula el valor del coeficiente Cs usando la figura 7.4. con 5 m de profundidad de relleno y 630 mm de diámetro Duralón S.M.

$$Cs = 0.011$$

La carga concentrada por ruedas de un vehículo se asume de 0.07 MN que equivale a 7,135.6 kg, el diámetro externo para tubería de 630 mm se toma del cuadro 4.2, siendo DE = 0.630 m, por lo que, la carga viva resultará igual a: (Fórmula 7.6)

$$Wsc = (0.011) \frac{(7,135.6 \text{ kg})(1.0)}{(0.9144 \text{ m})(0.630 \text{ m})} = 136.25 \text{ kg/m}^2$$

$$Wsc = 0.0136 \text{ kg/cm}^2$$



Cálculo de la deflexión de la tubería:

El cálculo de deflexión de la tubería se hace usando la fórmula 7.2. A continuación se presenta el cálculo de deflexión para uno de los grados de compactación. En la tabla siguiente se presentan los resultados para los demás grados de compactación para las dos clases de suelo.

Suelo 1

RD para tubo Clase 7 = 630 mm / 5.4 mm = 40.9

DI = 1.5

E' = 14.06 kg/cm² para suelo clase II , 65-75 % proctor (cuadro 7.7.)

K = 0.1

$$\frac{\Delta y}{D} 1 \% = 100 \frac{(1.5)(0.1)(0.4284 \text{ kg/cm}^2) + (0.1)(0.0136 \text{ kg/cm}^2)}{\frac{2 (28,129.4 \text{ kg/cm}^2)}{3 (40.9 - 1)^3} + 0.061 (14.06 \text{ kg/cm}^2)}$$

$$\Delta y/D_1 = 5.69 \%$$

Clase de Suelo	Densidad Proctor (%)	E' (kg/cm ²)	Dy/D (%)
Clase II	65-75	14.06	5.69
	75-85	70.32	1.43
	85-95	140.65	0.74
Clase III	65-75	7.03	10.69
	75-85	28.13	3.84
	85-95	70.32	1.68

Conclusión:

La tubería se comporta satisfactoriamente en ambos suelos, no se recomienda tener compactaciones proctor menores a 75 % con suelo clase III. La deflexión máxima permisible es de 7.5 % (apartado 7.2.)

Ejemplo 7.2.

Tomando los datos del problema anterior, cambiando solamente el ancho de zanjas de 1.05 m a 1.30 m según la recomendación de la CNA (cuadro 8.4.)

Solución.

Cálculo de cargas muertas:

$$H/Bd = 5m / 1.30 m = 3.85$$

$$Cd_1 = 2.18$$

$$Cd_2 = 2.28$$

$$Wc_1 = (2.18) (1,700 \text{ kg/m}^3) (1.30 m) = 4,817.8 \text{ kg/m}^2 = 0.4818 \text{ kg/cm}^2$$

$$Wc_2 = (2.28) (1,900 \text{ kg/m}^3) (1.30 m) = 5,631.6 \text{ kg/m}^2 = 0.5632 \text{ kg/cm}^2$$



Cálculo de cargas vivas:

$$C_s = 0.0011$$

$$W_{sc} = (0.011) \frac{(7,135.6 \text{ kg})(1.0)}{(0.9144 \text{ m})(0.630 \text{ m})} = 136.25 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{sc} = 0.0136 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de la deflexión de la tubería:

Suelo 1

DI = 1.5

E' = 14.06 kg/cm² para suelo clase II , 65-75 % proctor (cuadro 7.7.)

K = 0.1

$$\frac{\Delta y}{D} 1 \% = 100 \frac{(1.5)(0.1)(0.4818 \text{ kg/cm}^2) + (0.1)(0.0136 \text{ kg/cm}^2)}{\frac{2 (28,129.4 \text{ kg/cm}^2)}{3 (40.9 - 1)^3} + 0.061 (14.06 \text{ kg/cm}^2)}$$

$$\Delta y/D_1 = 6.39 \%$$

Clase de Suelo	Densidad Proctor (%)	E' (kg/cm ²)	Dy/D (%)
Clase II	65-75	14.06	6.39
	75-85	70.32	1.61
	85-95	140.65	0.83
Clase III	65-75	7.03	11.90
	75-85	28.13	4.28
	85-95	70.32	1.87

Conclusión:

Como se puede observar en el cuadro anterior el ancho de zanja afecta significativamente a la deflexión de la tubería por lo que se recomienda tener los anchos menores posibles, esto es aquellos que permitan elaborar los trabajos de instalación (nivelación de plantillas, instalación de la tubería, acostillado, relleno y compactación).



7.5. 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.

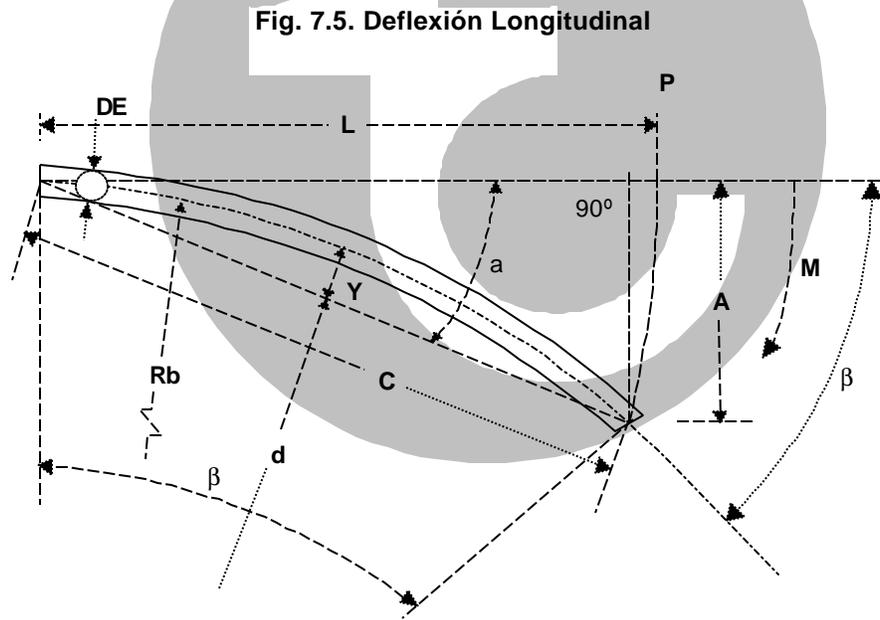
Gracias a la deflexión longitudinal, la tubería de PVC tiene la cualidad de curvarse y moverse por efecto de cargas externas concentradas.

7.5.1. Deflexión Permissible

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" permissible puede ser significativa cuando las campanas están diseñadas para este propósito. Dependiendo del diámetro del tubo y el diseño de la campana.



7.5.2. Esfuerzo Flexionante Permitido

Se define mediante la siguiente ecuación:

$$S_b = (HDB - S_t) \frac{T}{F} \quad (7.8)$$

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/cm^2), para tubos sin presión es igual a cero

T = Factor de temperatura, (1)

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

Para la tubería Duralón el Esfuerzo Flexionante Permisibles es:

$$S_b = \left(280 - \frac{280}{2}\right) \frac{1.0}{2.0} = 70 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

7.5.3. Momento Flexionante

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

$$M = \frac{S_b I}{c} \quad (7.9)$$

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)

DE_{prom} = Diámetro Externo promedio del tubo (cm)

DI_{prom} = DE - 2e = Diámetro Interno promedio del tubo (cm)

e_{prom} = Espesor de pared promedio (cm) (cuadros 4.1., 4.2. y 4.3., capítulo 4)

7.5.4. Radio Mínimo de Curvatura

Usando la ecuación de Timoshenko:

$$R_b = \frac{EI}{M} \quad (7.10), \text{ sustituyendo (7.9) en (7.10), } R_b = \frac{E \cdot DE}{2S_b} \quad (7.11)$$

Siendo:

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

7.5.5. Ángulo Central

Está sustentado por la longitud del tubo, dado como:

$$b = \frac{360 L}{2p \cdot R_b} = \frac{57.30 L}{R_b} \quad (7.12)$$

7.5.6. Ángulo de Deflexión Lateral

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

$$a = b/2 \quad (7.13)$$

7.5.7. Desplazamiento del Tubo (A)

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

$$A = 2R_b(\text{sen}^2 b/2) = 2R_b(\text{sen}^2 a) \quad (7.14)$$



7.5.8. 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:

$$P = \frac{3EIA}{L^3} \quad (7.15)$$

Donde:

P = Fuerza lateral de desplazamiento, (kg)

Las demás variables definidas anteriormente.

Otros Parámetros de la figura 7.5.

Longitud

$$L = \frac{R_b p}{90} a \quad (7.16)$$

$$d = R_b \cos b/2 \quad (7.17)$$

Flecha

$$Y = R_b - d \quad (7.18)$$

Cuerda

$$C = 2 R_b \sin b/2 \approx L \quad (7.19)$$

Cuadro 7.8. Deflexión Longitudinal permisible en tubería Hidráulica Duralón Serie Inglesa

Diámetro Nominal DN (mm)	Radio mínimo de Curvatura R_b (m)	Ángulo Central β (grados)	Desplazamiento del extremo del tubo (A) (cm)
13	4.28	80° 19'	356.1
19	5.36	64° 04'	302.0
25	6.71	51° 13'	250.8
32	8.48	40° 32'	203.6
38	9.68	35° 30'	180.0
50	12.12	28° 22'	145.6
60	14.67	23° 26'	121.0
75	17.86	19° 15'	99.8
100	22.97	14° 58'	77.9
150	33.82	10° 10'	53.1
200	44.02	7° 48'	40.8

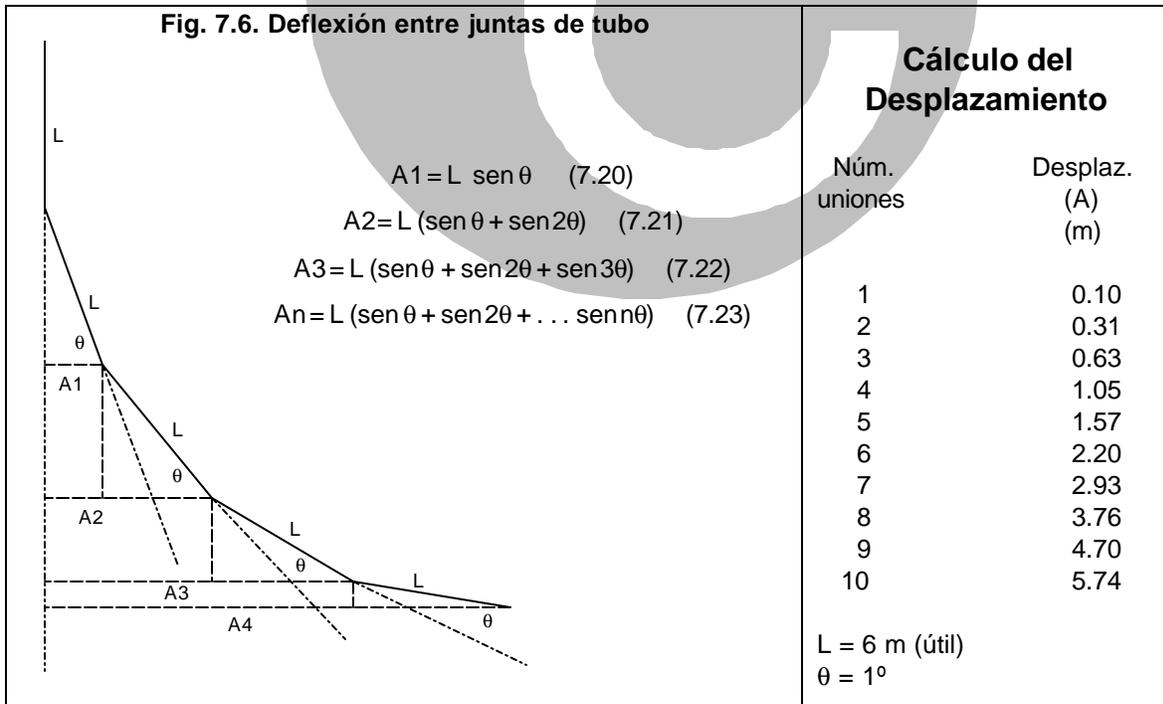


Cuadro 7.9. Deflexión Longitudinal permisible en tubería Hidráulica Duralón Serie Métrica

Diámetro Nominal DN (mm)	Radio mínimo de Curvatura R_b (m)	Ángulo Central β (grados)	Desplazamiento del extremo del tubo (A) (cm)
160	32.15	10° 41'	55.8
200	40.18	8° 33'	44.7
250	50.23	6° 50'	35.8
315	63.29	5° 25'	28.4
355	71.33	4° 49'	25.2
400	80.37	4° 16'	22.4
450	90.42	3° 48'	19.9
500	100.46	3° 25'	17.9
630	126.58	2° 43'	14.2

7.5.9. Deflexión Longitudinal usando las Uniones Anger

Para cambios de dirección usando las uniones de los tubos de PVC se pueden hacer considerando que las juntas anger permiten un movimiento relativo en cada unión de entre 1° y 5° (7), las relaciones usadas se presentan en la figura 7.6.. En el cuadro 7.10. se muestran la longitud lateral que se obtiene de uno a diez uniones, con longitudes útiles de 6 m (ver figuras 4.1. y 4.15. capítulo 4).





Capítulo 8

Instalación y Manejo de la Tubería



8. INSTALACIÓN Y MANEJO DE LA TUBERÍA.

Debido a la relevancia que actualmente se le ha dando al aspecto ecológico, se buscan opciones que reduzcan los riesgos de contaminación. La tubería de PVC por sus propiedades de hermeticidad, estanquidad, atoxicidad, resistencia a la corrosión y abrasión es actualmente una de las mejores opciones para conducir agua potable en el mercado.

Existe una amplia experiencia en instalaciones hidráulicas con tubería Duralón tanto en acueductos como en redes de distribución (ver el capítulo 1).

El presente capítulo trata de las recomendaciones de transporte, manejo, almacenamiento e instalación de la tubería.

8.1. Transporte, manejo y almacenamiento en obra.

8.1.1. Transporte.

Los tubos de PVC DURALON son fabricados en longitudes útiles de 6 m (ver cuadros 4.1., 4.2. y 4.3, capítulo 4). La cantidad de tubos de los diferentes diámetros que puede transportar un camión tipo torton se muestran en las siguientes tablas:

Cuadro 8.1. Capacidad de carga de tubería Duralón Hidráulica Anger Serie Inglesa en un camión tipo torton

DN mm	No de tramos	Longitud (m)
38	2,000	12,000
50	1,350	8,100
60	1,000	6,000
75	700	4,200
100	440	2,640
150	190	1,140

Cuadro 8.2. Capacidad de carga de tubería Duralón Hidráulica Anger Serie Métrica en un camión tipo torton

DN mm	No de tramos	Longitud (m)
160	238	1,428
200	143	858
250	90	540
315	56	336
355	42	252
400	35	210
450	30	180
500	20	120
630	12	72

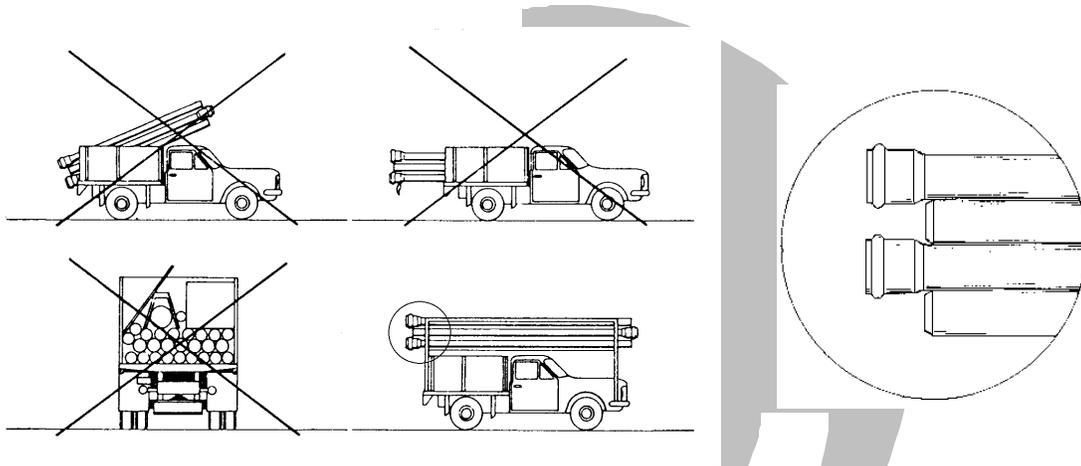
El transporte debe realizarse procurando que no se dañen los materiales. Los tubos deben colocarse en superficies planas tal como se muestra en la figura 8.1. En el transporte la altura de la estiba no

debe exceder de 2.5 m. La colocación de los tubos debe hacerse tal como se muestra en el detalle de la figura 8.1.

Al transportar los tubos, debe evitarse en lo posible, la carga mixta; pero si es inevitable, está debe acomodarse de manera que no lastime a los tubos. Con el objeto de economizar el flete se pueden "telescopiar" los tubos, introduciendo unos dentro de otros, siempre y cuando los diámetros lo permitan.

Cuando el transporte se haga a grandes distancias y sobre todo en tiempo de calor, la carga debe protegerse y dejar un espacio entre la cubierta y los tubos que permita la circulación de aire para evitar deformaciones que pueden ocasionar el peso de los tubos y la temperatura a la que están sometidos.

Fig. 8.1. Transporte de la tubería



8.1.2. Carga, descarga y manejo.

Carga y descarga

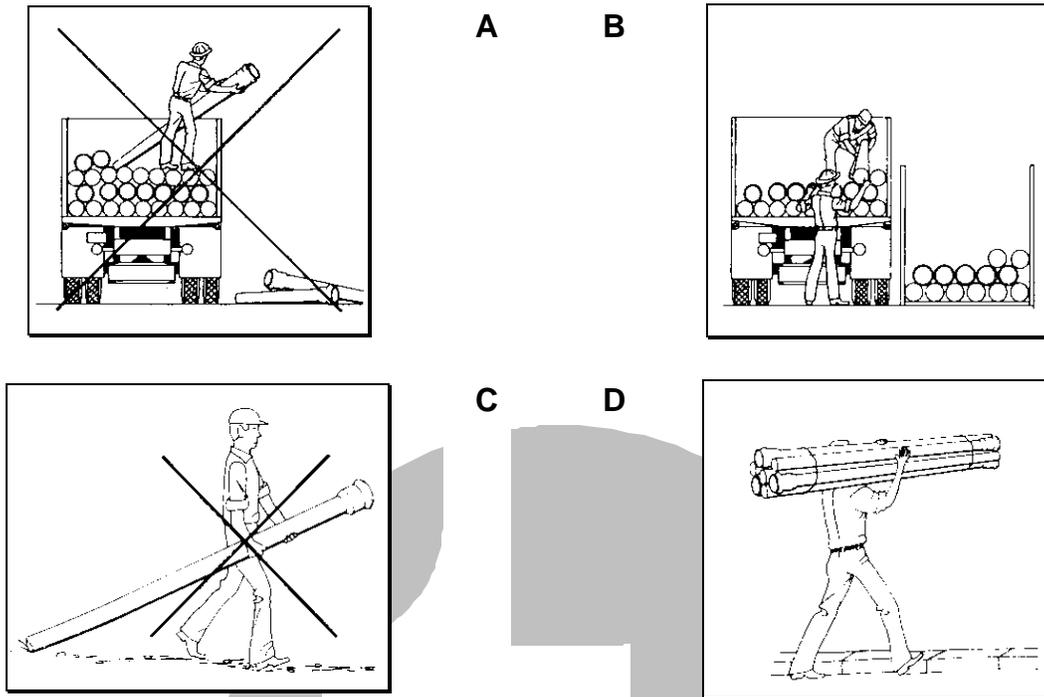
Durante la carga y descarga de los tubos, estos no deben arrojarse al suelo, someterlos a peso excesivo o golpearlos (Fig. 8.2. A y B) . Se recomienda que por lo menos dos hombres se encargen de esta operación.

Cuando la carga o descarga se haga con grúas o montacargas, se deben utilizar elementos que no dañen los tubos, tales como eslingas de nilón, fajas de lona, etc. Debe evitarse el uso de cadenas de acero.

Manejo

Para evitar daño a los tubos, nunca se deben arrastrar, golpearlos contra el suelo o con herramientas (Fig. 8.2. C). Se recomienda no desatarlos para su manejo (aquellos tubos que vengan en atados) (figura 8.2. D).



Fig. 8.2. Carga, descarga y manejo de la tubería

A temperaturas inferiores a 0° C la resistencia de los tubos a los golpes se reduce, por lo que hay que tener mayor cuidado en el manejo.

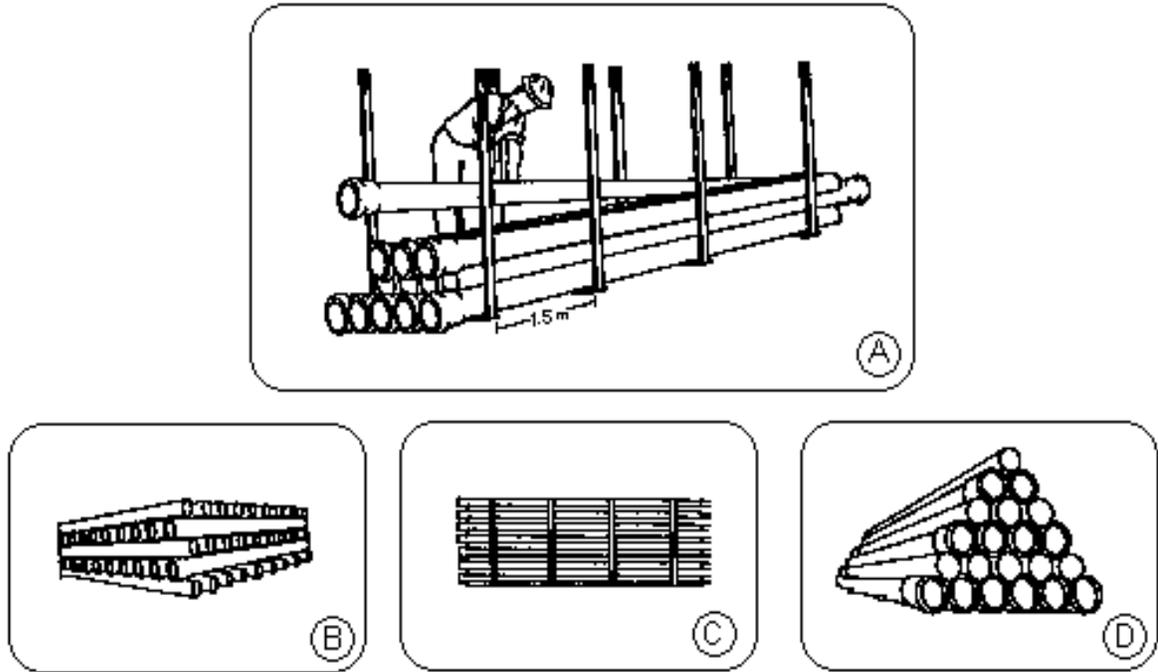
8.1.3. Almacenamiento en obra

El lugar de almacenamiento debe situarse lo más cercano posible al sitio de la obra. Los tubos deben de colocarse en un superficie plana, nivelada y libre de piedras, apoyando la primera línea de tubos sobre polines, los cuales deben tener una separación no mayor a 1.5 m (Fig. 8.3. A)

La figura 8.3. B, C y D, muestran la forma de estibar la tubería en campo. La estiba que más se recomienda es la de camas perpendiculares (figura B), sobre todo si se cuenta con suficiente espacio. La estiba de camas paralelas (figura C), es la más adecuada cuando se dispone de poco espacio, y la estiba piramidal (figura D), es práctica únicamente cuando se carece de espacio suficiente y se tienen pocos tubos.



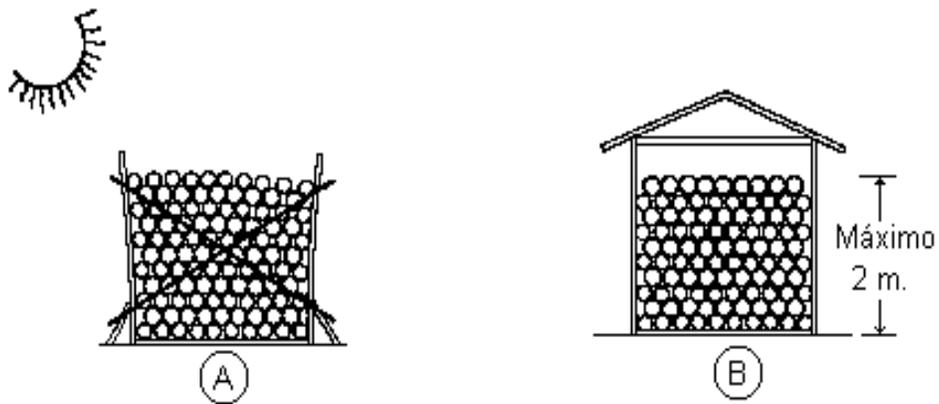
Fig. 8.3. Almacenamiento en obra.



Almacenamiento a la intemperie.

Quando los tubos vayan a estar expuestos al sol por más de 30 días deben almacenarse bajo techo. No deben cubrirse con lonas o polietileno, pues esto provoca un aumento de la temperatura que puede causar deformaciones, por lo que se recomienda un techado que permita una buena ventilación a los tubos (figura 8.4.)

Fig. 8.4. Almacenamiento a la intemperie.



8.2 Instalación

8.2.1. Conexiones de la línea DURALÓN.

La Tubería fue descrita en el apartado 4.1., 4.3. y 4.5. del capítulo 4. Las conexiones en los apartados 4.2., 4.4. y 4.6. Se muestran los dibujos tanto de la tubería como de la conexiones, además en los cuadros 4.1. al 4.7. se muestran las especificaciones.

8.2.2. Acoplamiento de la tubería.

La figura 8.5. 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 8.6.)

Para diámetros de 450 mm a 630 mm Serie Métrica el acoplamiento se hace ayudándonos con un teclé 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 8.6.)

Fig. 8.5. Instalación y acoplamiento de la tubería Duralón.



A) Acarreo de la tubería a la zanja



B) Deposición de la tubería al borde de la zanja



C) Limpieza de la campana y presentación del anillo empaque para determinar la posición correcta de colocación (el labio de diámetro mayor debe ser hacia fuera)



D) Colocación del anillo en el nicho de la campana. Se le da forma de "corazón" para insertarlo. Se debe presionar con suficiente fuerza la "onda" que se forma.



E) Es necesario (sobre todo en Diámetros mayores a 250 mm) hacer dos "ondas" con el anillo para que este se desplace dentro del nicho



F) Una vez colocado el anillo, se baja la tubería a la zanja. Se puede hacer el bajón con cuerdas, colocando personal a ambos lados de la zanja.



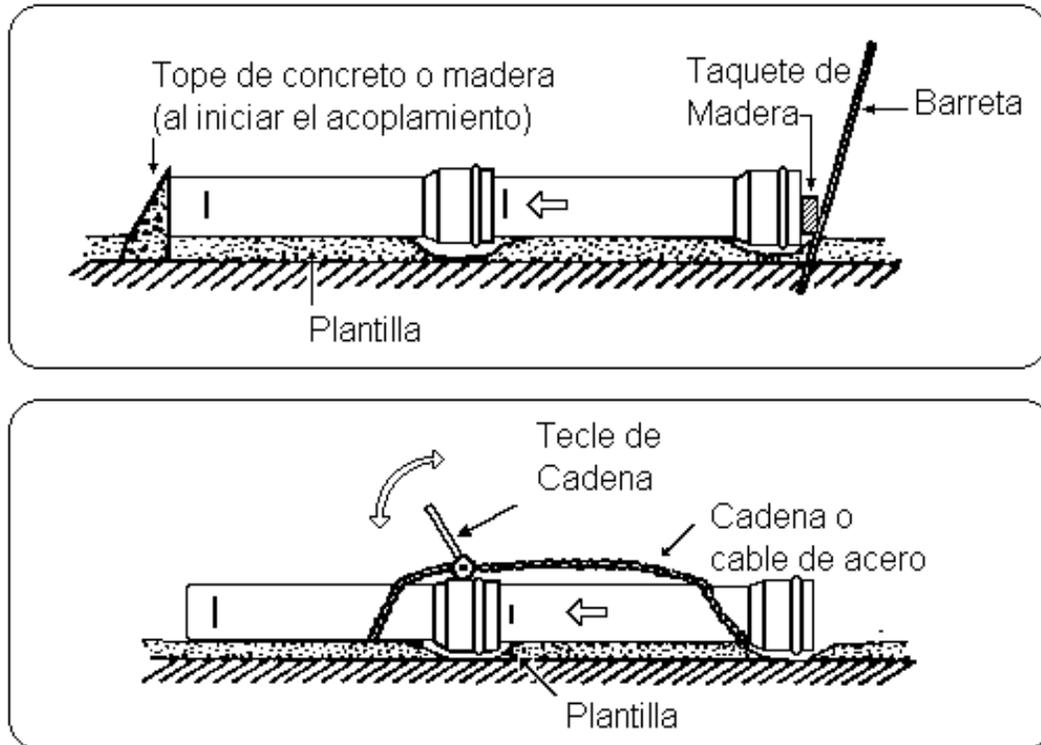
G) Se limpia la espiga, para quitar los residuos de polvo. Cuidar que la tubería tenga chaflán, en caso de no tenerlo achaflanar con un limatón.



H) Se aplica el lubricante en la espiga, procediendo a unir tramos.

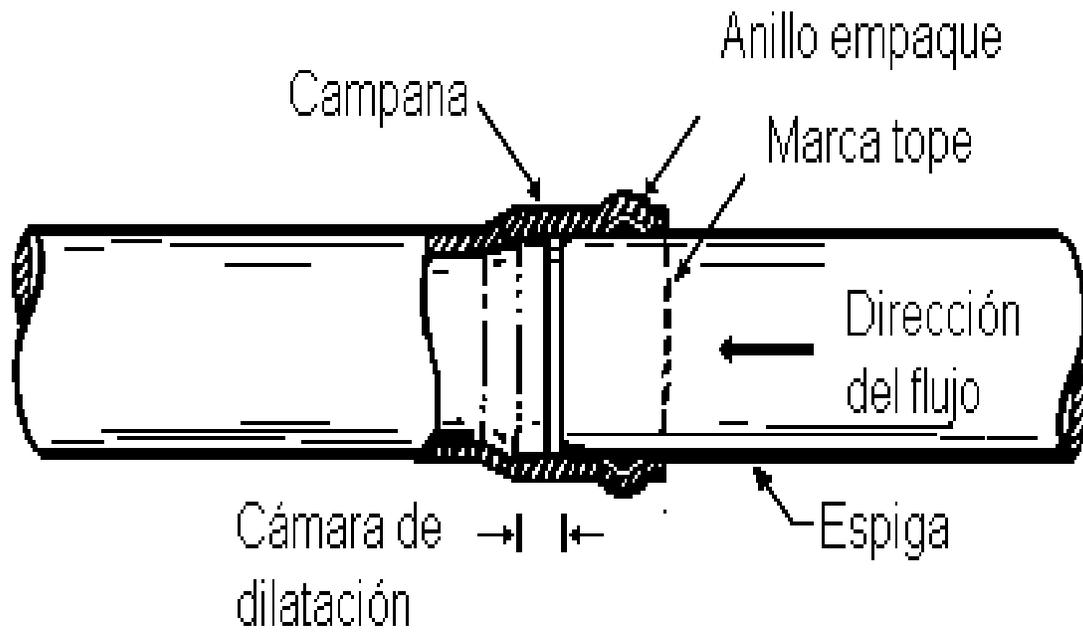
Detalle de los pasos para hacer el acoplamiento



Fig. 8.6. 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. La figura 8.10. muestra la unión anger.

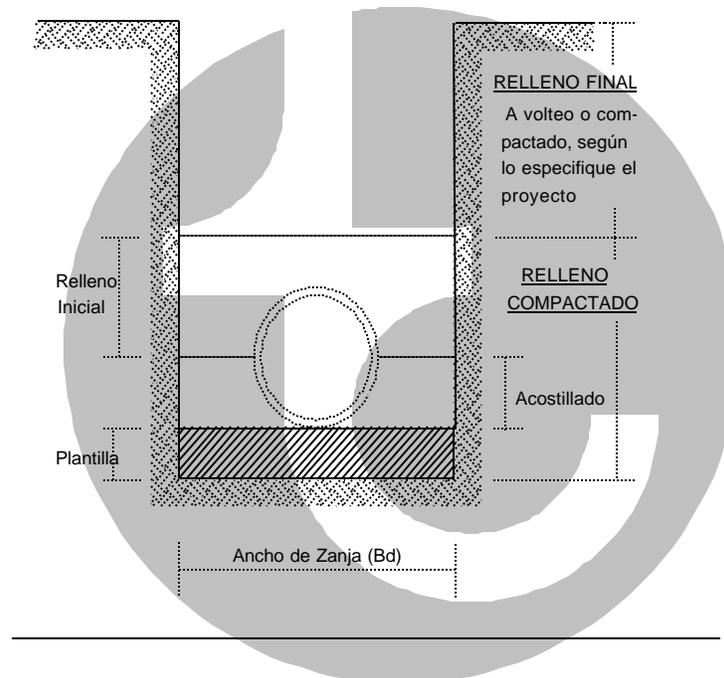
Fig. 8.7. Unión Anger utilizada en la tubería DURALÓN mostrado el anillo empaque (según Norma NMX-E-111)



8.2.3. 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 8.12.)

Fig. 8.8. 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 escombros; el relleno final puede ser a volteo o compactado según lo especifique el proyecto.

Para consultar la clasificación de suelos (SUCS), los valores promedio del módulo de reacción del suelo (E'), una guía aproximada del grado de compactación según el método de relleno, así como los porcentajes proctor y módulo de reacción para diferentes clases de suelo, refiérase a los cuadros 7.4., 7.5., 7.6. y 7.7. respectivamente del capítulo 7.



8.2.4. Dimensiones de la zanja.

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

Cuadro 8.3. Dimensiones de zanja recomendadas para tubería DURALÓN Hidráulica Anger Serie Inglesa.

Diámetro Nominal		Ancho de Zanja (m)	
		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

ITP: Instituto de Tuberías Plásticas.

Cuadro 8.4. Dimensiones de zanja recomendadas para tubería DURALÓN Hidráulica Anger Serie Métrica.

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

ITP: Instituto de Tuberías Plásticas.



8.2.5. Rendimientos de instalación

El siguiente cuadro muestra los rendimientos de lubricante para instalar tubería anger. (7)

Cuadro 8.5. Rendimiento de lubricante para uniones anger, Tubería Hidráulica Serie Inglesa

Diámetro Nominal (mm)	No de uniones por lata de 1000 gr.	Cantidad de lubricante por unión (gr.)
32	1255	0.80
38	900	1.11
50	661	1.51
60	406	2.46
75	273	3.67
100	180	5.54
150	81	12.35
200	54	18.57

Nota: El número de uniones varía dependiendo de la consistencia del lubricante y de la experiencia del instalador.

Cuadro 8.6. Rendimiento de lubricante para uniones anger, Tubería Hidráulica Serie Métrica

Diámetro Nominal (mm)	No de uniones por lata de 1000 gr.	Cantidad de lubricante por unión (gr.)
160	81	12.35
200	58	17.28
250	46	21.66
315	38	26.00
355	31	32.50
400	31	32.50
450	23	43.33
500	15	65.00
630	8	130.00

Nota: El número de uniones varía dependiendo de la consistencia del lubricante y de la experiencia del instalador.



El cuadro 8.7. presenta el rendimiento de cemento y limpiador para tubería cementar: (7)

Cuadro 8.7. Rendimiento de cemento y limpiador para uniones cementar, Tubería Hidráulica Serie Inglesa

Diámetro Nominal (mm)	No de uniones por lata de cemento de	No de uniones limpiador de
	500 ml	250 ml
25	160	32
32	140	28
38	100	20
50	60	12
60	50	9
75	40	7
100	30	5
150	20	4
200	15	2

Nota: El número de uniones varía dependiendo de la experiencia del instalador y la temperatura ambiente

El rendimiento de instalación se muestra a continuación (7):

Cuadro 8.8. Rendimiento de instalación de la tubería de PVC DURALÓN tipo anger.

Diámetro Nominal (mm)		Tubos de 6 m que se instalan por cuadrilla en una jornada de 8 horas	No de operadores por cuadrilla	
HASI	HASM		Oficiales	Peones
38		220 (1,320 m) a mano	1	2
50		220 (1,320 m) a mano	1	2
60		210 (1,260 m) a mano	1	2
75		200 (1,200 m) a mano	1	2
100		175 (1050 m) a mano	1	2
150	160	160 (960 m) con barreta	1	3
200	200	120 (720 m) con barreta	1	3
	250	100 (600 m) con barreta	1	3
	315	90 (540 m) con barreta	2	3
	355	80 (480 m) con barreta	2	3
	400	70 (420 m) con barreta	2	3
	450	65 (390 m) con tecla	2	3
	500	60 (360 m) con tecla	2	4
	630	55 (330 m) con tecla	2	4

Estos rendimientos no consideran el acarreo de la tubería del lugar de almacenamiento a la zanja, solo el bajado de la tubería y su posterior unión dentro de la misma. Estos valores son promedio por lo que pueden ser inferiores o superiores dependiendo de la experiencia y habilidad de los instaladores, Además son para condiciones de zanja donde no exista nivel freático alto. Tampoco están considerados los trabajos de relleno y compactación.



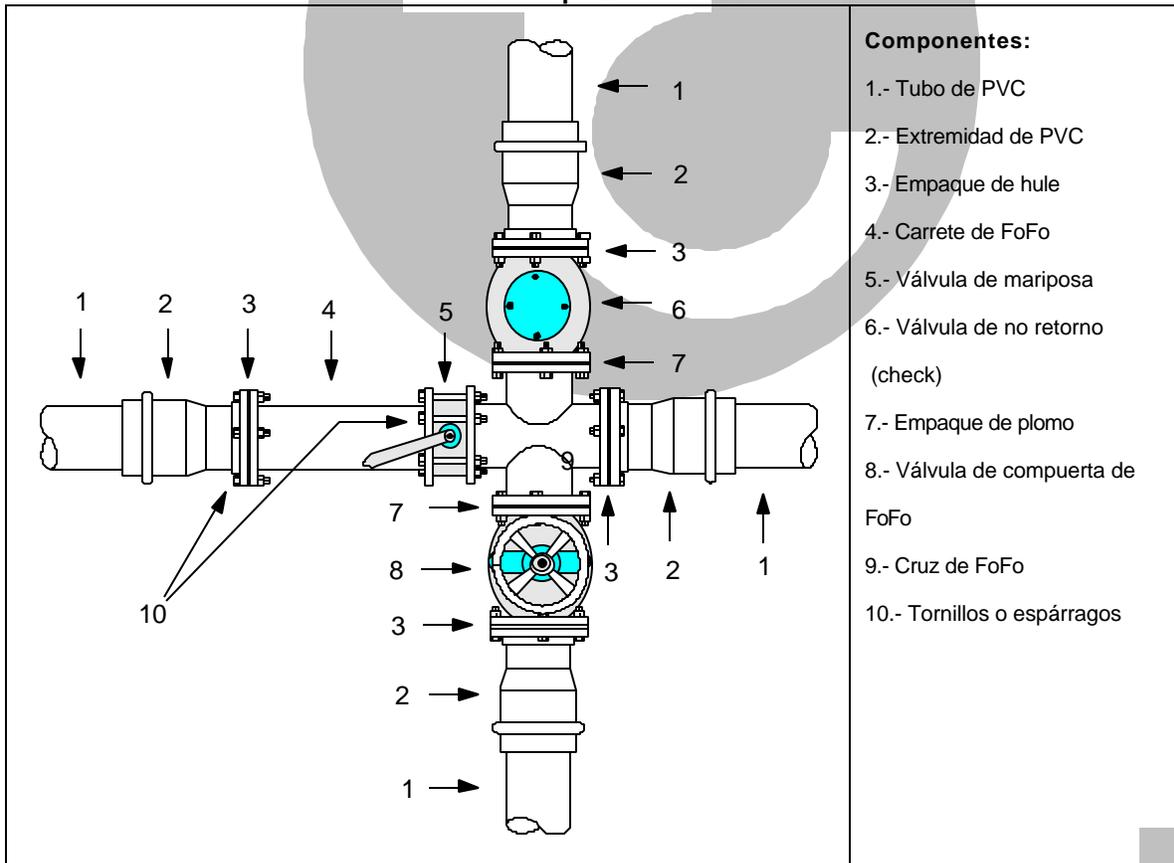
8.2.6. Instalación de piezas especiales.

En el capítulo 3 se vieron los tipos de uniones que se utilizan en la tubería de PVC. Este tipo de tuberías ofrecen una gran versatilidad de interconexión con otros tipos de materiales, ya sea Fierro Fundido (FoFo), Fierro Galvanizado (FoGo), Cobre, Asbesto Cemento (A-C) y Polietileno (PE); 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 (refiérase al capítulo 4, en el cual se presenta toda la gama de conexiones de PVC actualmente comercializadas), además de la instalación de válvulas de compuerta, válvulas de admisión expulsión de aire y válvulas de mariposa, entre otras. Otra duda común de nuestros clientes se refiere a la reparación de las tuberías dañadas cuando realizan los trabajos de mantenimiento preventivo o correctivo.

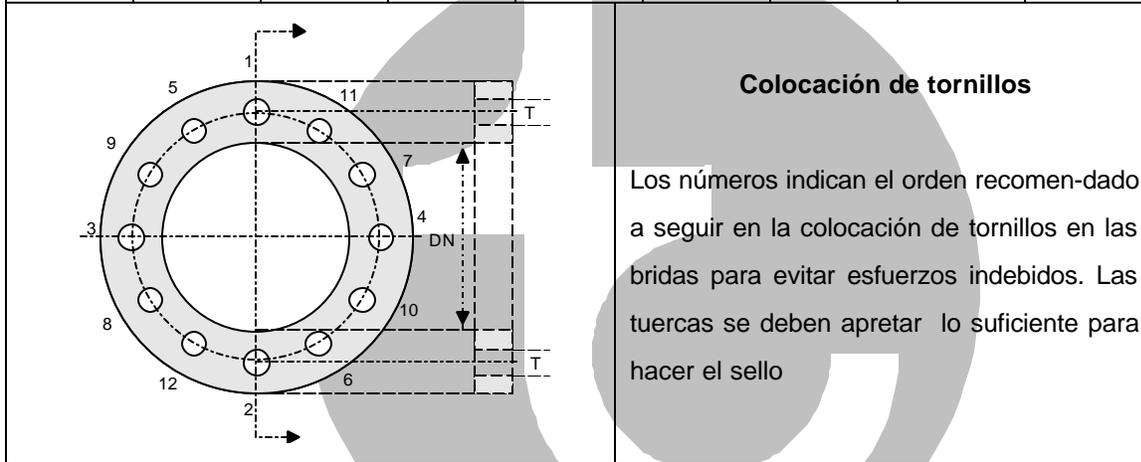
En el presente capítulo se presentan los esquemas de interconexión de la tubería de PVC con otros materiales (llamados suscedáneos), la reparación de una línea y la instalación de tomas domiciliarias. Creemos que esta información puede ser de utilidad tanto para el residente de obra, el diseñador, los 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.

Fig. 8.9. Instalación de un crucero tipo con tres derivaciones usando piezas de FoFo



Cuadro 8.9. No. de tornillos y dimensiones para bridas de piezas de FoFo (12)

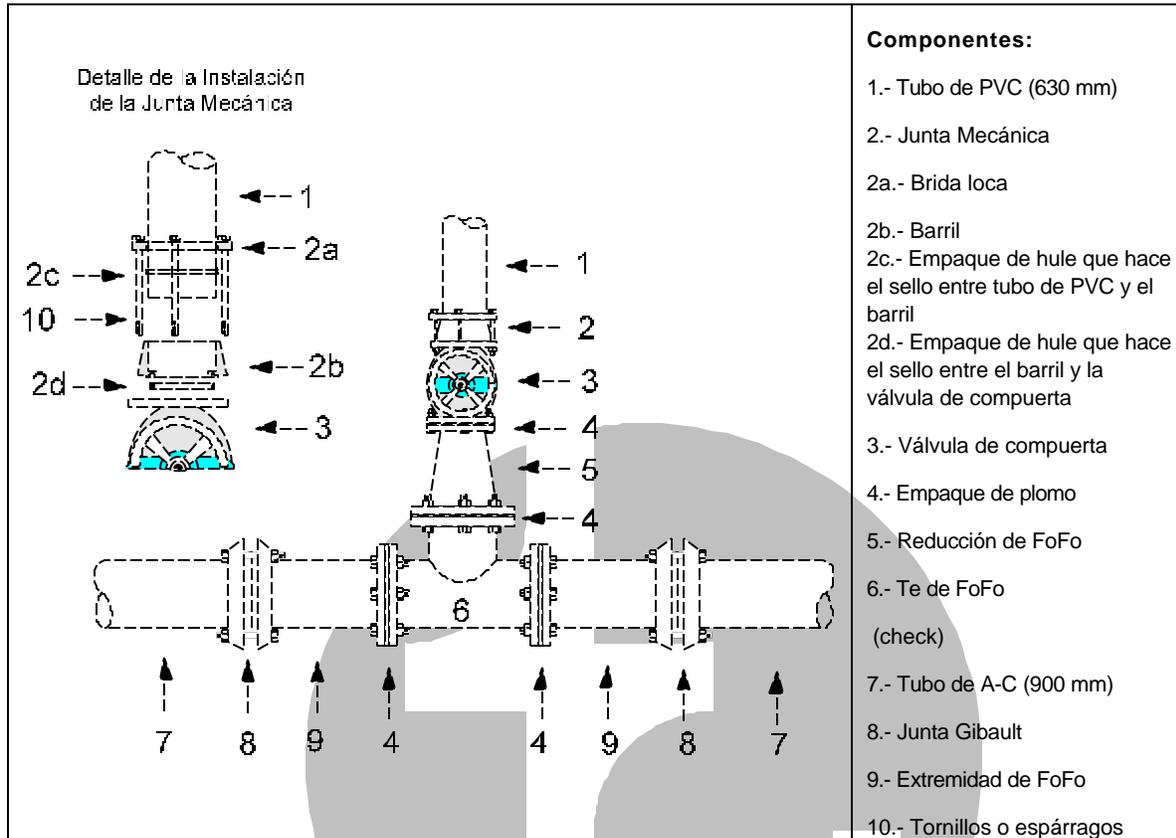
Diámetro Nominal DN		Diámetro de barrenos T		Diámetro de los tornillos		Longitud de los tornillos		No. de tornillos
mm	plg	mm	plg	mm	plg	mm	plg	piezas
50.8	2	19.1	3/4	15.9	5/8	63.5	2 1/2	4
63.5	2 1/2	19.1	3/4	15.9	5/8	63.5	2 1/2	4
76.2	3	19.1	3/4	15.9	5/8	63.5	2 1/2	4
101.6	4	19.1	3/4	15.9	5/8	76.2	3	8
152.4	6	22.2	7/8	19.1	3/4	76.2	3	8
203.2	8	22.2	7/8	19.1	3/4	88.9	3 1/2	8
254.0	10	25.4	1	22.2	7/8	88.9	3 1/2	12
304.8	12	25.4	1	22.2	7/8	101.6	4	12
355.6	14	28.6	1 1/8	25.4	1	114.3	4 1/2	12
406.4	16	28.6	1 1/8	25.4	1	114.3	4 1/2	16
457.2	18	31.8	1 1/4	28.6	1 1/8	114.3	4 1/2	16
508.0	20	31.8	1 1/4	28.6	1 1/8	127.0	5	20
609.6	24	34.9	1 3/8	31.8	1 1/4	139.7	5 1/2	20
762.0	30	34.9	1 3/8	31.8	1 1/4	165.1	6 1/2	28
914.4	36	41.3	1 5/8	38.1	1 1/2	177.8	7	32



Cuadro 8.10. Torsión recomendada de tornillos para unir por medio de bridas la tubería hidráulica de PVC (usando extremidades de PVC) (7)

Diámetro nominal de la tubería, en mm		Torsión			
Serie Inglesa	Serie Métrica	kgf · m		lbf · pie	
		mínimo	máximo	mínimo	máximo
25		1.5	2	10	15
32		1.5	2	10	15
38	50	1.5	2	10	15
50	63	3	4	20	30
60		3	4	20	30
75	80	3	4	20	30
	100	3	4	20	30
100		3	4	20	30
150	160	4.5	7	33	50
200	200	4.5	7	33	50
	250	7.5	10.5	53	75
	315	11	15	80	110

Fig. 8.10. Instalación de una derivación de PVC a partir de una línea de A-C usando piezas de FoFo



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 exprofeso 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.



Fig. 8.11. Instalación de un cabezal de descarga unido a tubería de PVC

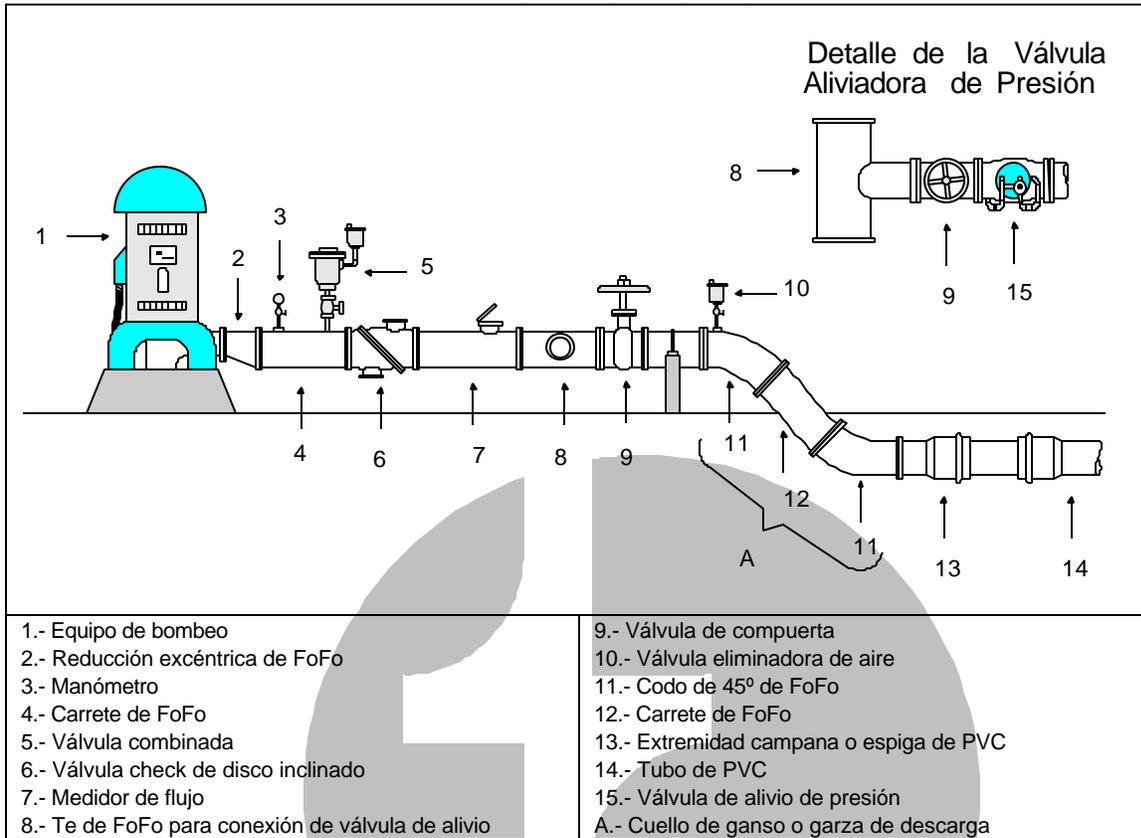
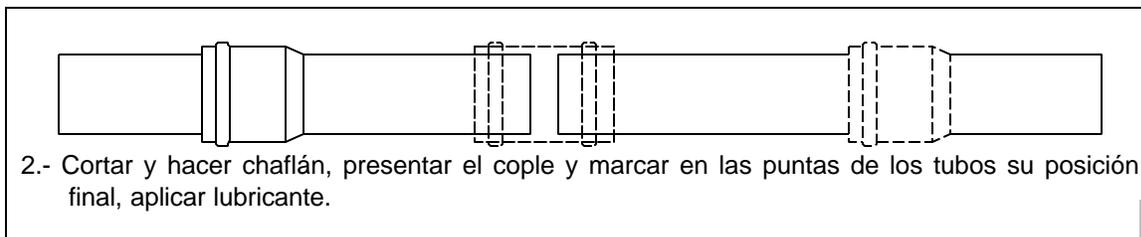
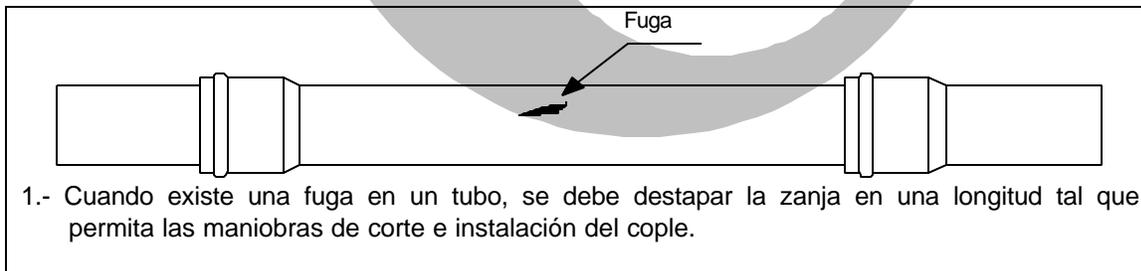


Fig. 8.12. Procedimiento de instalación de un cople reparación en una fuga



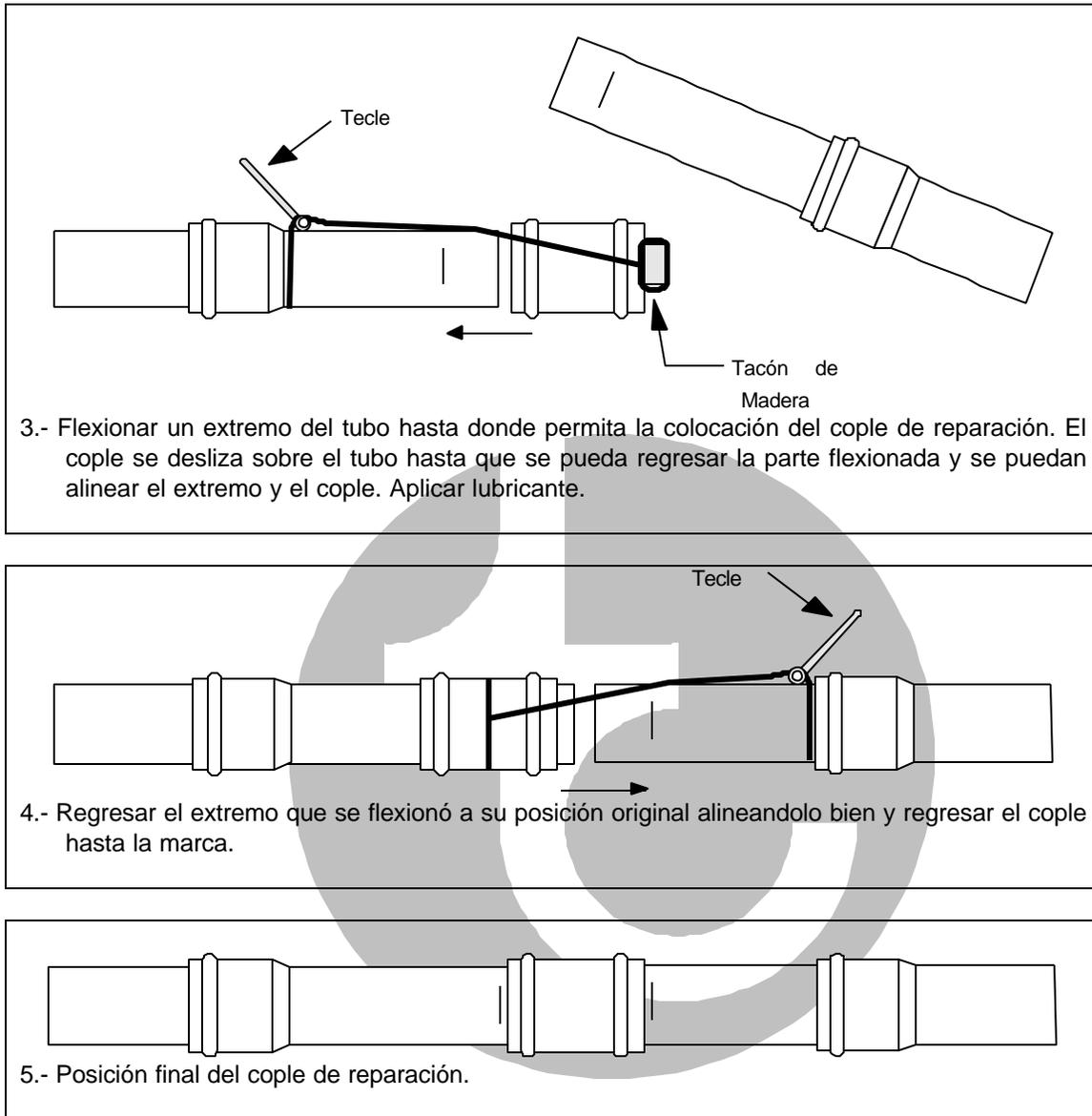


Fig. 8.13. Partes que conforman el Adaptador Compresión



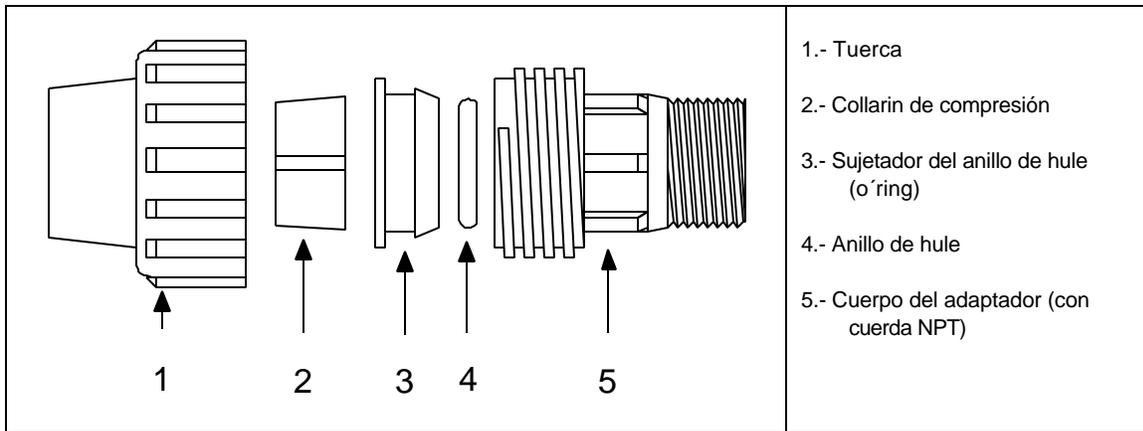
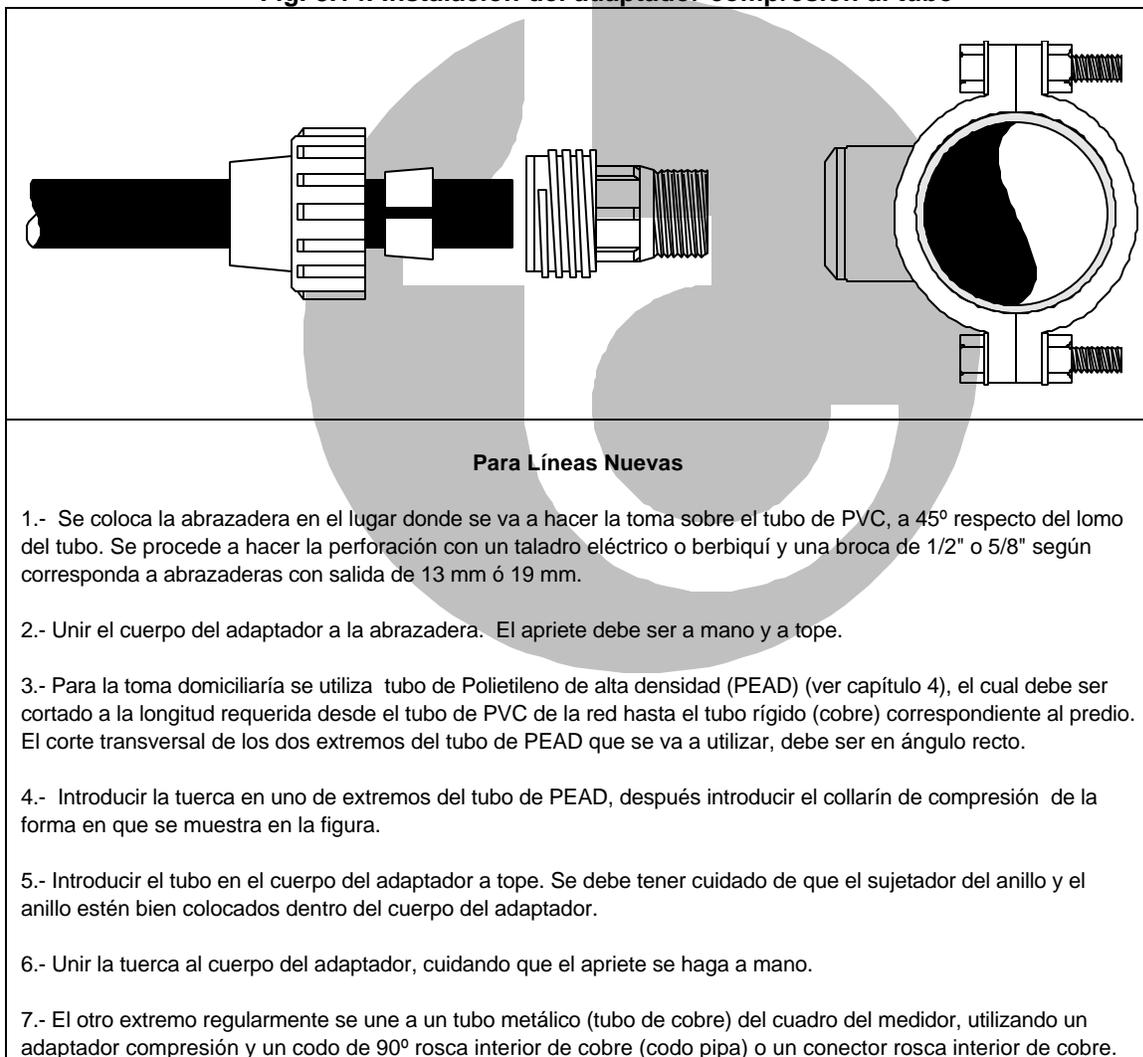


Fig. 8.14. Instalación del adaptador compresión al tubo



8.3. 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 ⁽⁷⁾. 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.

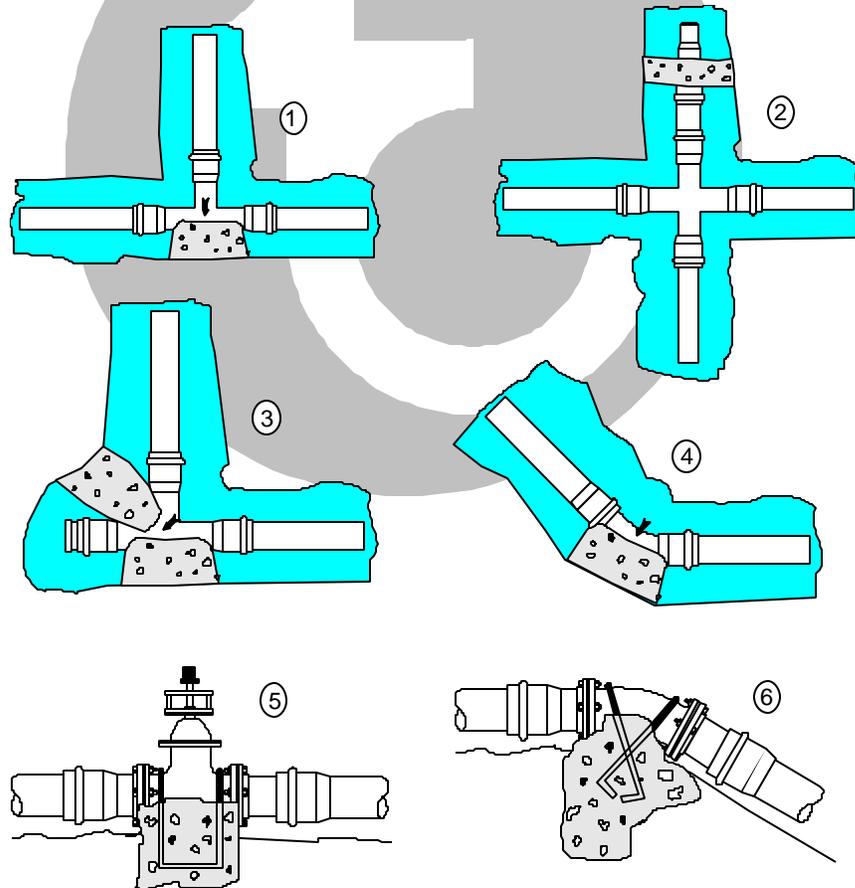
El tamaño del atraque depende de ⁽³²⁾ :

- 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 (p.ej. curvas horizontales o verticales)
- Tipo de suelo

8.3.1. Localización de los atraques

Fig. 8.15. Localización de 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) |

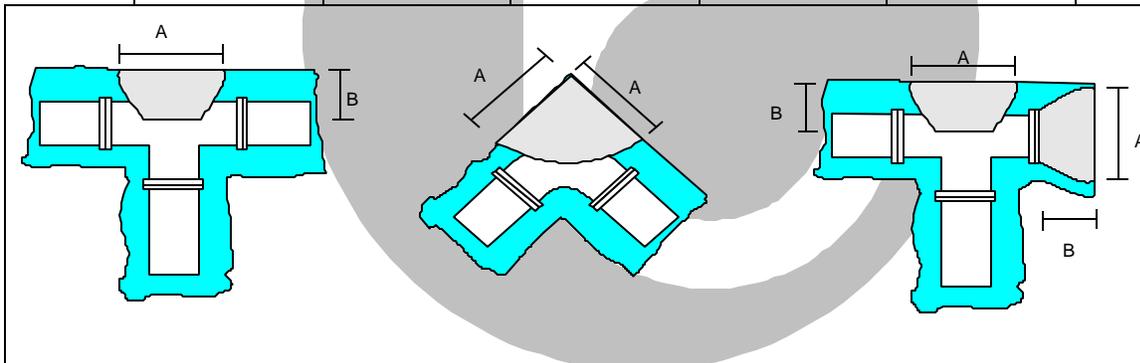


8.3.2. Dimensión de los atraques

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 fierro fundido (FoFo.) como se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 8.11. Dimensiones mínimas de los atraques de concreto para piezas especiales de FoFo.

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



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: (7)

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= $\pi D^2 / 4$

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

Para codos:



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

Siendo:

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

Para tes:

$$R = F \quad (8.3)$$

La superficie de apoyo del atraque se define como:

$$A = \frac{R}{T} \quad (8.4)$$

Donde:

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

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

Cuadro 8.12. Resistencia que opone el terreno (T) a la introducción del atraque (T)

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

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

Cuadro 8.13. Fuerza Resultante (F) en kilogramos para diferentes presiones en tubo Duralón Hidráulico S.I. para dimensionamiento de los atraques

DN mm	RD 41		RD 32.5		RD 26	
	PT 7.10	PP 10.65	PT 8.70	PP 13.05	PT 11.20	PP 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

PT: Presión recomendada de trabajo

PP: Presión de prueba en campo

Cuadro 8.14. Fuerza Resultante (F) en kilogramos para diferentes presiones en tubo Duralón Hidráulico S.M. para dimensionamiento de los atraques

DN mm	Clase 5		Clase 7		Clase 10		Clase 14	
	PT 5.00	PP 7.50	PT 7.00	PP 10.50	PT 10.00	PP 15.00	PT 14.00	PP 21.00
160	930.12	1,395.17	1,263.53	1,895.30	1,724.99	2,587.48	2,273.71	3,410.57
200	1,453.68	2,180.53	1,974.27	2,961.40	2,696.75	4,045.13	3,554.65	5,331.98

250	2,273.27	3,409.91	3,088.05	4,632.08	4,216.40	6,324.60	5,556.62	8,334.93
315	3,605.33	5,408.00	4,901.93	7,352.90	6,692.03	10,038.05	8,818.70	13,228.05
355	4,587.79	6,881.69	6,225.27	9,337.90	8,511.57	12,767.35	11,210.26	16,815.39
400	5,823.81	8,735.71	7,905.41	11,858.12	10,798.65	16,197.97	14,242.35	21,363.52
450	7,369.48	11,054.22	10,009.98	15,014.97	13,670.31	20,505.47	18,026.59	27,039.88
500	9,096.86	13,645.29	12,362.63	18,543.95	16,887.45	25,331.17	22,246.25	33,369.38
630	14,445.13	21,667.70	19,627.44	29,441.17	26,804.83	40,207.24	35,324.63	52,986.94

PT: Presión recomendada de trabajo

PP: Presión de prueba en campo

Ejemplo 8.1.

¿Qué dimensión de atraque se necesita para un codo de 45° y una te de 400 mm de diámetro nominal Clase 7, si en el momento de hacer la prueba hidrostática en campo se alcanza una presión de 10.5 kg/cm². El tipo de terreno es semifirme.?. ¿Cuál sería la dimensión del atraque si el tubo es Clase 14, con una presión de prueba de 21 kg/cm² ?

Solución

La fuerza resultante (F) para 400 mm de DN, con PP = 10.5 kg/cm² es igual a 11,858.12 kg, para una PP = 21 kg/cm² es igual a 21,363.52 kg. (cuadro 8.14.)

$$F1 = 11,858.12 \text{ kg}$$

$$F2 = 21,363.52 \text{ kg}$$

La fuerza de empuje (R) son respectivamente, para codos:

$$R1 \text{ codo} = 2(11,858.12 \text{ kg}) \text{ sen } (45^\circ / 2) = 9,075.8 \text{ kg}$$

$$R2 \text{ codo} = 2(21,363.52 \text{ kg}) \text{ sen } (45^\circ / 2) = 16,350.9 \text{ kg}$$

y para tes:

$$R1 \text{ te} = 11,858.12 \text{ kg}$$

$$R2 \text{ te} = 21,363.52 \text{ kg}$$

Las superficies de apoyo del atraque (A) por lo tanto son:



Tomando una altura del atraque $h = 65 \text{ cm}$

$$A1_{\text{codo}} = \frac{9,075.8 \text{ kg}}{2.0 \text{ kg/cm}^2} = 4,538 \text{ cm}^2 \quad \text{Ancho} = 70 \text{ cm}$$

$$A2_{\text{codo}} = \frac{16,350.9 \text{ kg}}{2.0 \text{ kg/cm}^2} = 8,175 \text{ cm}^2 \quad \text{Ancho} = 126 \text{ cm}$$

$$A1_{\text{TE}} = \frac{11,858.1 \text{ kg}}{2.0 \text{ kg/cm}^2} = 5,929 \text{ cm}^2 \quad \text{Ancho} = 91 \text{ cm}$$

$$A2_{\text{TE}} = \frac{21,363.5 \text{ kg}}{2.0 \text{ kg/cm}^2} = 10,682 \text{ cm}^2 \quad \text{Ancho} = 164 \text{ cm}$$

Si se comparan las dimensiones del codo presentado en el cuadro 8.11., se puede observar que el área mínima para un codo es igual a dos veces el lado A por la altura, por lo que el área de apoyo sería igual a $65 \text{ cm} \times 2 \times 55 \text{ cm} = 7,150 \text{ cm}^2$ que se acerca a $A2$ para codo.

Para suelos que tengan resistencias a la penetración del atraque menores se debe considerar la dimensión correcta del atraque para evitar movimientos de la tubería, desacople de las conexiones y posibles daños personales.

8.4. Pruebas de Presión en campo (Pruebas Hidrostáticas).

Una vez instalada la línea de conducción es necesario realizar la prueba de presión con el objeto de verificar la hermeticidad del sistema y la resistencia a la presión a la cual trabajará la tubería en las condiciones normales de operación. El propósito de la prueba de presión es localizar posibles defectos en los materiales o en la hechura (mano de obra), por lo tanto permitir una reparación apropiada.

Nota: Es importante señalar que durante la prueba se deben extremar las precauciones para evitar daños personales a terceros.

8.4.1. Cálculo de las presiones de trabajo de la tubería Duralón

El dimensionamiento de los tubos se basa en un esfuerzo de diseño de 140 kg/cm^2 por lo que el espesor de pared varía para diferentes presiones de trabajo manteniendo el diámetro externo constante. Existe una relación que se usa para calcular la presión interna de trabajo en los tubos de PVC en base a su relación de dimensiones (RD).

$$P = \frac{2S}{(RD - 1)} \quad (8.5)$$

Donde:

P = Presión de trabajo de la tubería para un RD dado (kg/cm^2)

S = Esfuerzo de diseño (kg/cm^2), para PVC Duralón $S = 140 \text{ kg/cm}^2$

RD = Relación de dimensiones (adimensional), fórmula 3.1. capítulo 3

$$RD = \frac{DE_{\text{prom}}}{e_{\text{mín}}}$$



Ejemplo 8.2.

¿Cuál es la presión de trabajo y de qué línea es, un tubo cuyas dimensiones son: diámetro externo promedio 315 mm, espesor mínimo de pared de 15 mm ?

Solución

Ya que el tubo es de 315 mm de diámetro externo, corresponde a un tubo Hidráulico Anger Serie Métrica (recuérdese que el tubo Hidráulico Serie Inglesa se fabrica hasta 200 mm).

Calculando el RD del tubo tenemos:

$$RD = \frac{315 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} = 21$$

Como se puede observar, para calcular el RD se requiere que las unidades sean congruentes (mm con mm, m con m, etc.).

Después se calcula la presión de trabajo:

$$P = \frac{2(140 \text{ kg/cm}^2)}{(21 - 1)} = 14 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto corresponde a un tubo Clase 14.

Nota: Este procedimiento es útil sobre todo cuando no se tiene los datos de la tubería, obteniendo las medidas directamente del tubo.

8.4.2. Presión de prueba en campo de las tubos Duralón

Las presiones de prueba en campo de la tubería Duralón se obtienen multiplicando por 1.5 la presión de trabajo. En el siguiente cuadro se resumen tanto la presión de trabajo como la de prueba, además se da la presión de reventamiento la cual corresponde a 3.2 veces la presión de trabajo.

Cuadro 8.15. Presión de trabajo, Presión de prueba y Presión de Reventamiento para Tubería de PVC Duralón

Tubo de PVC Duralón Hidráulico Anger	Presión recomendada de trabajo PT (kg/cm ²)	Presión de prueba en campo PP (kg/cm ²)	Presión de reventamiento PR (kg/cm ²)
Serie Inglesa			
RD 41	7.1	10.65	22.72
RD 32.5	8.7	13.05	27.84
RD 26	11.2	16.8	35.84
RD 13.5	22.4	33.5	71.68
Serie Métrica			
Clase 5	5.0	7.5	16.0
Clase 7	7.0	10.5	22.4
Clase 10	10.0	15.0	32.0
Clase 14	14.0	21.0	44.8



8.4.3. Procedimiento para la prueba hidrostática en campo.

El siguiente procedimiento se basa tanto en las recomendaciones hechas por Uni - Bell Plastic Pipe Association, el Instituto de Tuberías Plásticas (ITP), como en la experiencia que tiene la empresa en instalaciones hidráulicas en el país (ver currículum de la empresa, cuadro 1.1. del capítulo 1). En lo fundamental el procedimiento es semejante, por lo que se marcarán aquellos aspectos considerados importantes para los autores. La prueba se debe hacer en tramos terminados.

Una vez instalado el tubo en la zanja se deben tapar los tramos de tubería por lo menos hasta unos 10 cm por arriba del lomo, es posible dejar solo las uniones al descubierto para verificar la hermeticidad, rellenando hasta 30 cm encima del lomo del tubo, sin embargo cuando la prueba se hace a presiones altas, esto puede provocar movimientos entre las uniones. Tres partes de la línea deben ser considerados cuando se hace una prueba ⁽³²⁾:

- La tubería a probar debe tener el relleno suficiente para prevenir movimiento mientras se mantiene bajo la presión de prueba.
- Los atraques en las conexiones deben ser permanentes y contruidos para soportar la presión de prueba. Si se usan atraques de concreto, se debe dejar el tiempo suficiente para dejar curar el concreto. Un tiempo de curado de 7 días se recomienda si se usa cemento portland Tipo I y tres días se recomiendan si se usa cemento portlan Tipo II de fraguado rápido.
- Los extremos de la tubería de prueba deben ser tapados y apuntalados para que soporten el empuje apreciable que se desarrolla bajo la presión de prueba.

Otras precauciones a tomar son:

- Inspeccionar que las válvulas eliminadoras de aire, las de admisión y expulsión y las combinadas se encuentren propiamente instaladas y en funcionamiento ya que:



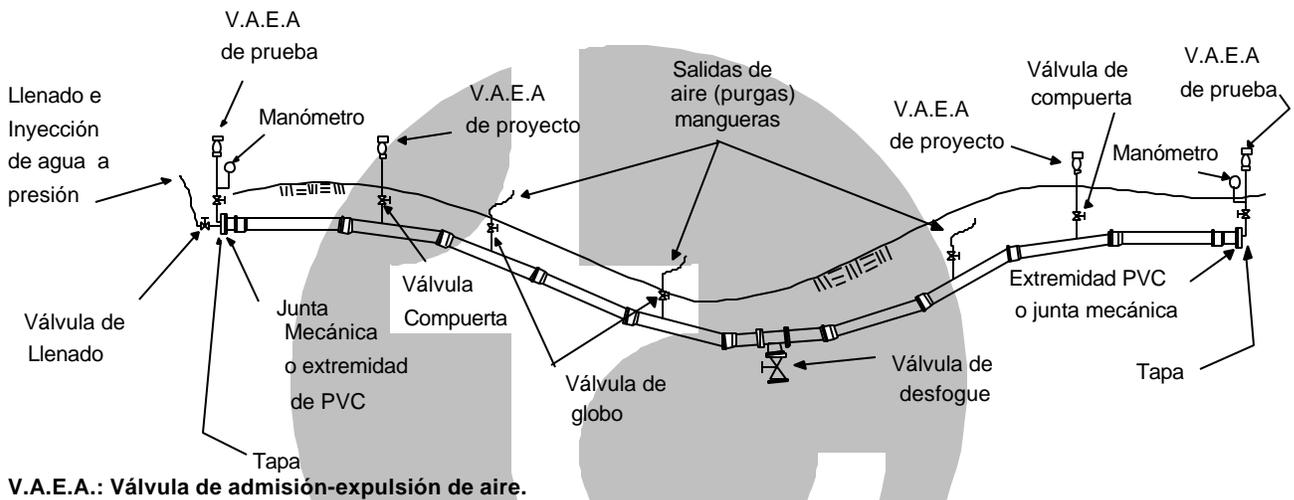
La presencia de aire en la línea puede provocar reventamientos explosivos del tubo incluso a presiones por abajo de las presiones de prueba.

- Durante la prueba, se debe tener la precaución de que no haya personas encima de la tubería o cerca de la zanja para evitar daños personales en caso de reventamientos explosivos debido a la presencia de aire en la línea de prueba.

Procedimiento:

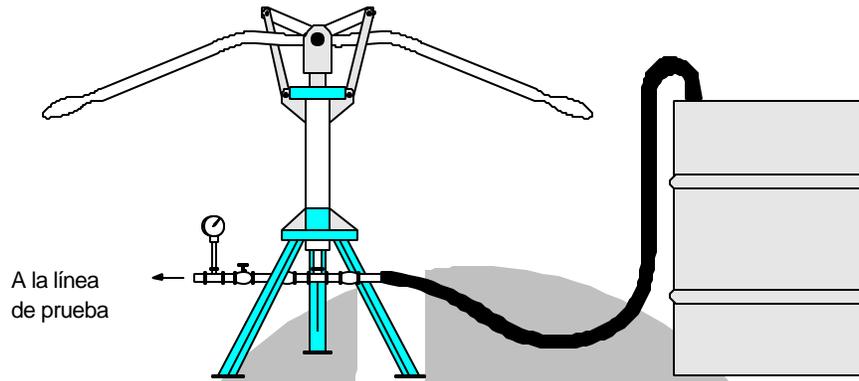
La siguiente figura muestra un tramo preparado para la prueba hidrostática según la experiencia de la empresa en acueductos. El procedimiento a continuación hace referencia a la figura.

Fig. 8.16. Preparación de una sección para la prueba hidrostática



- Para la tubería Duralón S.I. y en la S.M. hasta 315 mm se recomienda poner un tapón campana y/o espiga en los extremos del tramo a probar. Enseguida mediante el uso de taquetes de madera para evitar dañar el tubo y usando polines, se debe apuntalar la tapa a un atraque de madera u otro material que resista la fuerza desarrollada en la prueba, el cual debe estar soportado por las paredes de la zanja. En los dos extremos se recomienda hacer las adaptaciones necesarias para la instalación de un manómetro, una válvula para purga, una de admisión-expulsión de aire (V.A.E.A.) y una para llenado (Fig. 8.16.). Para los tubos Duralón S.M. con diámetros de 355 mm a 630 mm, se recomienda usar tapas ciegas de FoFo. unidas a la tubería mediante una junta mecánica debido a que piezas de este diámetro en PVC no se fabrican actualmente en México.
- Se deben instalar válvulas de purga a lo largo de la línea a cada 250 m de 1/2" hasta 1" dependiendo del diámetro de la tubería.
- Se procede a llenar la tubería mediante una bomba centrífuga, durante este proceso las válvulas de purga deben estar completamente abiertas con el fin de expulsar el aire atrapado del tubo. La presión de prueba se consigue, una vez que el tubo ha sido llenado de agua, usando una bomba de émbolo accionada a mano ("liebre" o "tijera") (figura 8.21.) (se puede usar una bomba de desplazamiento positivo, aunque se debe tener cuidado no exceder las presión de prueba). Checar los manómetros constantemente.

Fig. 8.17. Bomba tipo "liebre" o "tijera" para la prueba hidrostática



- La línea debe ser llenada lentamente desde una fuente disponible de agua potable. El agua puede ser introducida de líneas en servicio a través de conexiones a válvulas, conexiones temporales a hidrantes, derivaciones hechas en la línea nueva o a conexiones en la tapa o tapón de la línea. Todas las conexiones, sin embargo deben ser hechas en el punto más bajo de la línea, de ser posible. La velocidad del flujo durante el llenado de la línea no debe exceder 0.6 m/s ⁽³²⁾. El siguiente cuadro muestra la cantidad de agua necesaria para cada diámetro en litros por cada 100 m de tubo.

Cuadro 8.16. Volumen de agua requerido en tubería Duralón S.I. para la prueba hidrostática en litros / 100 m de tubo

DN mm	RD 41	RD 32.5	RD 26
38		156.9	151.4
50	253.4	248.1	239.3
60	372.8	364.2	351.5
75	554.2	541.1	523.0
100	919.5	895.8	865.9
150	2,000.6	1,948.3	1,874.8
200	3,394.7	3,297.4	3,182.6

Cuadro 8.17. Volumen de agua requerido en tubería Duralón S.M. para la prueba hidrostática en litros / 100 m de tubo

DN mm	Clase 5	Clase 7	Clase 10	Clase 14
160	1,860.2	1,805.0	1,725.0	1,624.1
200	2,907.4	2,820.4	2,696.8	2,539.0
250	4,546.5	4,411.5	4,216.4	3,969.0
315	7,210.7	7,002.8	6,692.0	6,299.1
355	9,175.6	8,893.2	8,511.6	8,007.3
400	11,647.6	11,293.4	10,798.6	10,173.1



450	14,739.0	14,300.0	13,670.3	12,876.1
500	18,193.7	17,660.9	16,887.4	15,890.2
630	28,890.3	28,039.2	26,804.8	25,231.9



- Una vez lleno el tramo se proceden a cerrar las válvulas de purga bombear el agua lentamente con la bomba de émbolo y con ayuda del manómetro. Se debe tener cuidado en mantener la válvula de purga "ahorcada" de tal forma de permitir que la presión dentro de la tubería se eleve lentamente. Una vez alcanzada la presión de prueba (apartado 8.4.3.) se procede a cerrar la purga y la válvula de paso de la alimentación del tubo.
- El tiempo de prueba recomendado es de dos horas. La caída de presión en la primer hora no debe exceder 0.5 kg/cm^2 , esto debido a que la tubería de PVC se "acomoda" al terreno, recuperar a la presión de prueba. En la segunda hora la presión no debe de caer más de 0.1 kg/cm^2 .
- Durante la prueba se deben de hacer recorridos periódicos a lo largo de la línea para checar que no existan fugas.
- Si se presentan fugas se procede a hacer la reparación de los tramos con fuga usando un cople reparación (ver capítulo 4). Se debe drenar la tubería antes de realizar cualquier reparación. Una vez realizadas las reparaciones se procede a probar la tubería nuevamente.
- Cuando la prueba hidrostática ha sido aceptada, se procede a sacar la presión de la línea, ya sea por las válvulas de purga o por la válvula de llenado, para después retirar las tapas y conectar la línea para tenerla en condiciones de operación.
- Se retiran las válvulas de purga y en su lugar se colocan tapones macho de PVC o de fierro galvanizado roscados.
- Se procede a completar el llenado de la zanja hasta el terreno natural (TN) con el material producto de la excavación.

La prueba debe ser certificada por el Ingeniero residente del organismo operador correspondiente con el fin de obtener la aprobación del tramo instalado.





Capítulo 9

Bibliografía



9.- BIBLIOGRAFÍA.

- (1) Arteaga Tovar, R. Eduardo, 1993. Hidráulica Elemental. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Irrigación. México
- (2) Bermad. 1986. Boletín técnico "Guía de las ventosas Bermad". Israel
- (3) César Valdez, Enrique. 1992. Abastecimiento de Agua Potable. UNAM. Facultad de Ingeniería. División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica. Departamento de Ingeniería Sanitaria. México.
- (4) CNA. 1992. Lineamientos Técnicos para la elaboración de Estudios y Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. México.
- (5) Editors of Modern Plastics Encyclopedia. 1976. Guide to Plastics. EE. UU.
- (6) Gieck, Kurt. 1981. Manual de Fórmulas Técnicas. México.
- (7) ITP, 1991. Manual de construcción de sistemas para abastecimiento de agua potable con tubería de PVC. Instituto de Tuberías Plásticas. México.
- (8) J-M Pipe. Sin fecha. Concepts of Water Hammer & Air Entrapment in the Filling & Testing of Pipelines. Recommendations Resulting From a Joint Research Effort of the Colorado State University Hydraulics Laboratory. USA.
- (9) L.E., Janson y J. Molin. 1991. Design and Installation of Buried Plastics Pipes. Suecia
- (10) Lara G. Jorge Luis, 1991. Alcantarillado. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica. Departamento de Ingeniería Sanitaria. México.
- (11) Mancebo del Castillo, Uriel. 1987. Teoría del golpe de ariete y sus aplicaciones en Ingeniería hidráulica. México.
- (12) Mymaco. Sin fecha. Catálogo de productos. México
- (13) NMX-E-111-1993-SCFI. Industria del plástico -Tubos y conexiones - Anillos de material elastomérico usados como sello en la tubería de poli(cloruro de vinilo) (PVC) - Especificaciones.
- (14) NMX-E-143-1994-SCFI. Industria del plástico - Tubos y conexiones - Tubos de poli(cloruro de Vinilo) (PVC) sin plastificante para abastecimiento de agua a presión - Serie métrica - Especificaciones.
- (15) NMX-E-145-1994-SCFI. Industria del plástico - Tubos y conexiones - Tubos de poli(cloruro de Vinilo) (PVC) sin plastificante para abastecimiento de agua a presión - Serie inglesa - Especificaciones.
- (16) NMX-E-145/3-1993-SCFI. Industria del plástico - Tubos y conexiones - Conexiones hidráulicas de poli(cloruro de Vinilo) (PVC), con unión cementar - Serie inglesa - Especificaciones.
- (17) NMX-E-146-1993-SCFI. Industria del plástico - Tubos y conexiones - Tubos de polietileno de alta densidad (PEAD) para toma domiciliaria de agua - Especificaciones.

- (18) NMX-E-191-1993-SCFI. Industria del plástico - Tubos y conexiones - Abrazadera de plástico para toma domiciliaria de agua - Especificaciones.
- (19) NMX-E-192-1993-SCFI. Industria del plástico - Tubos y conexiones - Conexiones de plástico utilizadas para toma domiciliaria de agua - Especificaciones.
- (20) Olver B., Fernando. 1986. Estructuración de Vías Terrestres. México
- (21) Rendón Uribe, Enrique. 1990. El control de aire en los sistemas hidráulicos. Revista Agua Potable, Vol. 5. No. 64. pp. 34-37. México.
- (22) Renval. Sin fecha. Catálogo técnico de productos de válvulas de aire.
- (23) Renval. Sin fecha. Boletín Técnico No. 1. Localización y cálculo de válvulas eliminadoras de aire
- (24) Simon, Andrew L. 1986. Hidráulica Práctica. México.
- (25) Sotelo Avila, Gilberto. 1987. Hidráulica General, Volumen 1, Fundamentos. México.
- (26) Sotelo Ávila, Gilberto. 1986. Apuntes de Hidráulica II. UNAM; Facultad de Ingeniería; División de Ingeniería Civil, Topografía y Geodésica; Departamento de Hidráulica. México.
- (27) SRH. 1961. Mecánica de Suelos, Instructivo para ensaye de suelos. Dirección de Estudios y Proyectos. Departamento de Ingeniería Experimental. México.
- (28) Trueba Coronel, Samuel. 1956. Hidráulica. México.
- (29) Tubos Flexibles, 1984. Criterios de Diseño para Abastecimiento de agua Potable Empleando Tubería de PVC Duralón Anger. México.
- (30) Tubos Flexibles. Sin Fecha. Boletines Técnicos de la línea hidráulica Duralón. México.
- (31) UNAM. 1988. Normas de Proyecto para Obras de Alcantarillado Sanitario en Localidades Urbanas de la República Mexicana. Facultad de Ingeniería. México.
- (32) Unibell. 1982. Handbook of PVC Pipe, Design and Construction. Unibell Plastics Pipe Association. EE. UU.
- (33) Wavin, KLS, B.V. 1982. Plastics Sewers. Holanda.
- (34) Webber, N.B. 1969. Mecánica de Fluidos para Ingenieros. Londres, Inglaterra.





Anexo A1

Tablas Hidráulicas



Anexo A1: Constantes de las fórmulas de Manning y Hazen Williams para cálculos hidráulicos para tubería Duralón Hidráulica

Fórmula de Manning

Tomando la ecuación (6.29)

$$hf = \frac{10.294 \times 10^{10}}{D^{5.333}} (Qn)^2 L$$

Donde: D, es en mm; Q, en lps; L, en m; y n, es igual a 0.009. Se puede dejar en los siguientes términos:

$$hf = K Q^2 L$$

Siendo:

$$K = \frac{(10.294 \times 10^{10})(n^2)}{D^{5.333}}$$

Los valores de K para la fórmula de manning se muestran en los siguientes cuadros.

Anexo A1.1. Tabla de datos para cálculos hidráulicos tubería Duralón Hidráulica S.I. (Fórmula de Manning -n=0.009-)

Tipo de tubería	DN mm	DI mm	Area cm	K Manning
RD-41	50	56.8	25.34	3.669×10^{-3}
	60	68.9	37.28	1.310×10^{-3}
	75	84.0	55.42	4.553×10^{-4}
	100	108.2	91.95	1.180×10^{-4}
	150	159.6	200.06	1.484×10^{-5}
	200	207.9	339.47	3.624×10^{-6}
RD-32.5	38	44.7	15.69	1.317×10^{-2}
	50	56.2	24.81	3.883×10^{-3}
	60	68.1	36.42	1.394×10^{-3}
	75	83.0	54.11	4.853×10^{-4}
	100	106.8	89.58	1.265×10^{-4}
	150	157.5	194.83	1.593×10^{-5}
RD-26	200	204.9	329.74	3.916×10^{-6}
	38	43.9	15.14	1.450×10^{-2}
	50	55.2	23.93	4.273×10^{-3}
	60	66.9	35.15	1.533×10^{-3}
	75	81.6	52.30	5.314×10^{-4}
	100	105.0	86.59	1.385×10^{-4}
	150	154.5	187.48	1.765×10^{-5}
	200	201.3	318.26	4.304×10^{-6}



**Anexo A1.2. Tabla de datos para cálculos hidráulicos tubería Duralón
Hidráulica Anger S.M. (Fórmula de Manning -n=0.009-)**

Tipo de tubería	DN mm	DI mm	Area cm	K Manning	Tipo de tubería	DN mm	DI mm	Area cm	K Manning
CLASE 5	160	153.9	186.02	1.802 x10 ⁻⁵	CLASE 10	160	148.2	172.50	2.204 x10 ⁻⁵
	200	192.4	290.74	5.478 x10 ⁻⁶		200	185.3	269.68	6.695 x10 ⁻⁶
	250	240.6	454.65	1.663 x10 ⁻⁶		250	231.7	421.64	2.033 x10 ⁻⁶
	315	303.0	721.07	4.861 x10 ⁻⁷		315	291.9	669.20	5.931 x10 ⁻⁷
	355	341.8	917.56	2.556 x10 ⁻⁷		355	329.2	851.16	3.123 x10 ⁻⁷
	400	385.1	1164.76	1.353 x10 ⁻⁷		400	370.8	1079.86	1.656 x10 ⁻⁷
	450	433.2	1473.90	7.223 x10 ⁻⁸		450	417.2	1367.03	8.829 x10 ⁻⁸
	500	481.3	1819.37	4.120 x10 ⁻⁸		500	463.7	1688.74	5.025 x10 ⁻⁸
630	606.5	2889.03	1.200 x10 ⁻⁸	630	584.2	2680.48	1.466 x10 ⁻⁸		
CLASE 7	160	151.6	180.50	1.953 x10 ⁻⁵	CLASE 14	160	143.8	162.41	2.588 x10 ⁻⁵
	200	189.5	282.04	5.941 x10 ⁻⁶		200	179.8	253.90	7.862 x10 ⁻⁶
	250	237.0	441.15	1.802 x10 ⁻⁶		250	224.8	396.90	2.389 x10 ⁻⁶
	315	298.6	700.28	5.255 x10 ⁻⁷		315	283.2	629.91	6.970 x10 ⁻⁷
	355	336.5	889.32	2.779 x10 ⁻⁷		355	319.3	800.73	3.676 x10 ⁻⁷
	400	379.2	1129.34	1.469 x10 ⁻⁷		400	359.9	1017.31	1.941 x10 ⁻⁷
	450	426.7	1430.00	7.830 x10 ⁻⁸		450	404.9	1287.61	1.036 x10 ⁻⁷
	500	474.2	1766.09	4.459 x10 ⁻⁸		500	449.8	1589.02	5.911 x10 ⁻⁸
630	597.5	2803.92	1.300 x10 ⁻⁸	630	566.8	2523.19	1.722 x10 ⁻⁸		

Fórmula de Hazen - Williams

De la fórmula (6.22)

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

Donde: D, es en mm; Q, en lps; L, en m; y C, es igual a 150. Separando las constantes, se tendría:

$$hf = J Q^{1.852} L$$

Siendo:

$$J = \frac{1.21 \times 10^{10}}{D^{4.87} C^{1.852}}$$

Los siguientes cuadros muestran los valores de J para la fórmula de Hazen - Williams

**Anexo A1.3. Tabla de datos para cálculos hidráulicos tubería Duralón
Hidráulica S.I. (Fórmula de Hazen - Williams -C=150-)**

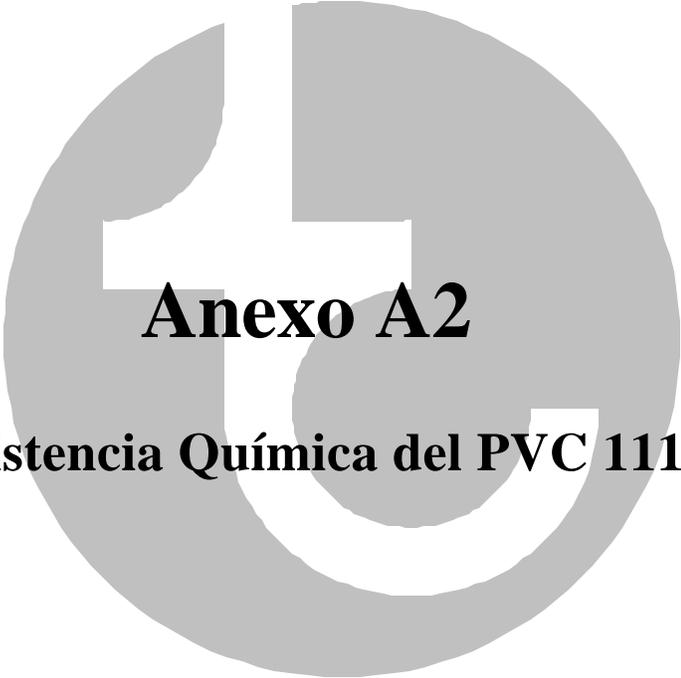
Tipo de tubería	DN mm	DI mm	Area cm	J H - W
RD-41	50	56.8	25.34	3.228 x10 ⁻³
	60	68.9	37.28	1.260 x10 ⁻³
	75	84.0	55.42	4.802 x10 ⁻⁴
	100	108.2	91.95	1.400 x10 ⁻⁴
	150	159.6	200.06	2.108 x10 ⁻⁵
	200	207.9	339.47	5.817 x10 ⁻⁶
RD-32.5	38	44.7	15.69	1.037 x10 ⁻²
	50	56.2	24.81	3.400 x10 ⁻³
	60	68.1	36.42	1.334 x10 ⁻³
	75	83.0	54.11	5.090 x10 ⁻⁴
	100	106.8	89.58	1.491 x10 ⁻⁴
	150	157.5	194.83	2.249 x10 ⁻⁵
200	204.9	329.74	6.244 x10 ⁻⁶	
RD-26	38	43.9	15.14	1.132 x10 ⁻²
	50	55.2	23.93	3.710 x10 ⁻³
	60	66.9	35.15	1.455 x10 ⁻³
	75	81.6	52.30	5.530 x10 ⁻⁴
	100	105.0	86.59	1.620 x10 ⁻⁴
	150	154.5	187.48	2.469 x10 ⁻⁵

	200	201.3	318.26	6.807×10^{-6}
--	-----	-------	--------	------------------------

**Anexo A1.4. Tabla de datos para cálculos hidráulicos tubería Duralón
Hidráulica Anger S.M. (Fórmula de Hazen - Williams -C=150-)**

Tipo de tubería	DN mm	DI mm	Area cm	J H - W	Tipo de tubería	DN mm	DI mm	Area cm	J H - W
CLASE 5	160	153.9	186.02	2.517×10^{-5}	CLASE 10	160	148.2	172.50	3.024×10^{-5}
	200	192.4	290.74	8.484×10^{-6}		200	185.3	269.68	1.019×10^{-5}
	250	240.6	454.65	2.856×10^{-6}		250	231.7	421.64	3.431×10^{-6}
	315	303.0	721.07	9.290×10^{-7}		315	291.9	669.20	1.114×10^{-6}
	355	341.8	917.56	5.166×10^{-7}		355	329.2	851.16	6.203×10^{-7}
	400	385.1	1164.76	2.890×10^{-7}		400	370.8	1079.86	3.475×10^{-7}
	450	433.2	1473.90	1.629×10^{-7}		450	417.2	1367.03	1.957×10^{-7}
	500	481.3	1819.37	9.757×10^{-8}		500	463.7	1688.74	1.170×10^{-7}
630	606.5	2889.03	3.164×10^{-8}	630	584.2	2680.48	3.798×10^{-8}		
CLASE 7	160	151.6	180.50	2.708×10^{-5}	CLASE 14	160	143.8	162.41	3.503×10^{-5}
	200	189.5	282.04	9.135×10^{-6}		200	179.8	253.90	1.180×10^{-5}
	250	237.0	441.15	3.074×10^{-6}		250	224.8	396.90	3.976×10^{-6}
	315	298.6	700.28	9.976×10^{-7}		315	283.2	629.91	1.291×10^{-6}
	355	336.5	889.32	5.575×10^{-7}		355	319.3	800.73	7.198×10^{-7}
	400	379.2	1129.34	3.116×10^{-7}		400	359.9	1017.31	4.018×10^{-7}
	450	426.7	1430.00	1.754×10^{-7}		450	404.9	1287.61	2.264×10^{-7}
	500	474.2	1766.09	1.049×10^{-7}		500	449.8	1589.02	1.357×10^{-7}
630	597.5	2803.92	3.403×10^{-8}	630	566.8	2523.19	4.400×10^{-8}		





Anexo A2

Resistencia Química del PVC 1114



Anexo A2. Resistencia Química de la tubería de PVC 1114

(Fuente: Referencia (7))

R = Resistente, C = Condicionado, N = No resistente

COMPUESTO QUÍMICO	22.8°C	60.0°C	COMPUESTO QUÍMICO	22.8°C	60.0°C
Aceite de algodón	R	R	Ácido láctico, 25%	R	R
Aceite de castor	R	R	Ácido láurico	R	R
Aceite de coco	R	R	Ácido linoléico	R	R
Aceite de linaza	R	R	Ácido maléico	R	R
Aceite de maíz	R	R	Ácido málico	R	R
Aceite de máquinas	R	R	Ácido metilsulfónico	R	R
Aceite de oliva	C	-	Ácido nicotínico	R	R
Aceite de silicón	R	N	Ácido nítrico, 0-50%	R	C
Aceite mineral	R	R	Ácido nítrico, 60 %	R	C
Aceite para corte de roscas	R	-	Ácido nítrico, 70 %	R	C
Aceite para motor	R	R	Ácido nítrico, 80 %	C	C
Aceite vegetal	R	R	Ácido nítrico, 90 %	C	N
Aceites y grasas	R	R	Ácido nítrico, 100 %	N	N
Aceites lubricantes	R	R	Ácido nítrico, vapores	N	N
Acetamina	-	-	Ácidos nítrico y sulfúrico, mezclados	R	R
Acetato butílico	N	N	Ácido nítrico	R	C
Acetato de metilo	N	N	Ácido oléico	R	R
Acetato de vinilo	N	N	Ácido oxálico	R	R
Acetilaldehído	N	N	Ácido palmítico, 70 %	R	N
Acetilaldehído, aq 40%	C	N	Ácido palmítico, 10 %	R	R
Acetileno	C	C	Ácido peracético, 40 %	R	N
Acetona	N	N	Ácido perclórico, 10 %	R	C
Ácido acético, glacial	R	N	Ácido perclórico, 70 %	R	N
Ácido acético, vapor	R	R	Ácido pícrico	N	N
Ácido acético 20%	R	R	Ácido pirogálico	C	C
Ácido acético 80%	R	R	Ácido salicílico	R	R
Ácido adípico	R	R	Ácido selénico	R	R
Ácido aril-sulfónico	R	R	Ácido silícico	R	R
Ácido arsénico 80 %	R	R	Ácido sulfónico de antraquinona	R	R
Ácido bencensulfónico	N	N	Ácido sulfúrico, 70-90%	R	C
Ácido bencensulfónico 10%	R	R	Ácido sulfúrico, 90-100%	C	N
Ácido benzóico	R	R	Ácido sulfúrico, hasta 70%	R	R
Ácido Bórico	R	R	Ácido sulfuroso	C	N
Ácido bromhídrico, 20%	R	R	Ácido tánico	R	R
Ácido Brómico	R	R	Ácido tartárico	R	R
Ácido butírico	R	N	Ácido tricloroacético	R	R
Ácido cianhídrico	R	R	Ácidos grasos	R	R
Ácido cítrico	R	R	Agua, normal	R	R
Ácido cloracético	R	R	Agua de mar	R	R
Ácido clorhídrico, 20%	R	R	Agua destilada	R	R
Ácido clorhídrico	R	R	Agua mineral	R	R
Ácido clorosulfónico	R	N	Agua regia	C	N
Ácido Crecílico, 50 %	R	R	Agua salada	R	R
Ácido crómico, 30 %	R	C	Aguas residuales residenciales	R	R
Ácido crómico, 40 %	R	C	Alcohol alílico	R	R
Ácido crómico, 50 %	N	N	Alcohol benzílico	N	N
Ácido crómico, 10 %	R	R	Alcohol butil (2-butanol)	R	N
Ácido diglicólico	R	R	Alcohol butil (n-butanol)	R	R
Ácido esteárico	R	R	Alcohol etílico	R	R
Ácido fluorbórico, 25%	R	R	Alcohol hexílico	R	R
Ácido fluorhídrico, 10%	R	C	Alcohol isopropil (2-propanol)	R	R
Ácido fluorhídrico, 60%	R	C	Alcohol Metílico	R	R
Ácido fluorhídrico, 100%	R	C	Alcohol Propil (1-propanol)	R	R
Ácido fluorsilícico	R	R	Alidas de etileno	N	N
Ácido fórmico	R	N	Almidón	R	R

Ácido fosfórico	R	R	Alquil xantato de potasio	R	N
Ácido ftálico	C	C	Alumbre	R	R
Ácido gálico	R	R	Amil acetato	N	N
Ácido glicólico	R	R	Amil cloruro	N	N
Ácido hipocloroso	R	R	Amonia , líquido	N	N

Anexo A2. Resistencia Química de la tubería de PVC 1114 (continuación)

(Fuente: Referencia (7))

R = Resistente, C = Condicionado, N = No resistente

COMPUESTO QUÍMICO	22.8°C	60.0°C	COMPUESTO QUÍMICO	22.8°C	60.0°C
Amonia, gas	R	R	Dimetil formamida	N	N
Amonia, aq	R	R	Dimetilamina	R	R
Anhídrido acético	N	N	Diocitilfalato (DOP)	N	N
Anilina	N	N	Dioxano-1,4	N	N
Antraquinona	R	R	Dióxido de azufre, húmedo	R	C
Azúcares, aq	R	R	Dióxido de azufre, seco	R	R
Azufre	R	R	Dióxido de carbono	R	R
Benceno	N	N	Dióxido de carbono, aq	R	R
Benzaldehido > 10 %	N	N	Éteres	N	N
Benzaldehido 10%	R	N	Etil alidas	N	N
Bisulfuro de carbono	N	N	Etil ester	N	N
Borax	R	R	Fenil carbinol	N	N
Bromo, gas 25%	R	R	Fenil hidracina	N	N
Bromo, aq	R	R	Fenil hidracina, ácida	C	N
Bromo líquido	N	N	Fenol	C	N
Bromuro de metileno	N	N	Fluorina, gas seco	C	N
Bromuro de metilo	N	N	Fluorina, gas húmeda	C	N
Butadina	R	R	Fluoruro de amonio, 25%	R	C
Butanodiol	R	R	Formaldehido	R	R
Butantetrol (eritritol)	R	N	Fosfato disódico	R	R
Butileno	R	R	Fósforo, amarillo	R	C
Butilfenol	R	N	Fósforo, rojo	R	R
Cal sulfurada	R	R	Fosgeno, gas	R	C
Caseína	R	R	Fosgeno, líquido	N	N
Celosolve	R	C	Freón, F21, F22	N	N
Cerveza	R	R	Freón, F11, F12, F113, F114	R	R
Cetonas	N	N	Gas de coque	R	R
Ciclohexáno	N	N	Gas de hulla, Manuf.	N	N
Ciclohexanol	N	N	Gas natural, metano	R	R
Ciclohexanona	N	N	Gasolinas	C	C
Cloramina	R	-	Gelatina	R	R
Clorato de sodio	R	C	Glicerina (glicerol)	R	R
Clorhidrato de anilina	N	N	Glicol de etileno	R	R
Clorito de sodio	R	R	Glicoles	R	R
Cloro, gas, seco	C	N	Grasa de cerdo	R	R
Cloro, gas, húmedo	N	N	Heptano	R	R
Cloro, líquido	N	N	Hexano	R	C
Cloro Activo 12.5 %	R	R	Hidracina	N	N
Cloro Activo 5.5 %	R	R	Hidrógeno	R	R
Cloro acuoso	R	R	Hidroquinona	R	R
Cloro benceno	N	N	Hidróxido de calcio	R	R
Cloroformo	N	N	Hipoclorito de calcio	R	R
Clorotionil	N	N	lodo alcalino	N	N
Cloruro ácido de anilina	N	N	lodo aq 10%	N	N
Cloruro Alílico	N	N	lodo en KI, 3% aq	C	N
Cloruro de clorobenzil	N	N	loduro de metileno	N	N
Cloruro de metileno	N	N	Jabones	R	R

Cloruro de metilo	N	N	Jabones metálicos, aq	R	R
Cloruro estánnico	R	R	Jarabes	R	R
Cloruro estañoso	R	R	Keroseno	R	R
Combustible Jet, JP4, JP5	R	R	Lauril clorado	R	R
Combustibles Diesel	R	R	Lauril sulfatado	R	R
Cresol	N	N	Leche	R	R
Detergentes, aq	R	R	Licor de papel Kraft	R	R
Dibutil sebacato	C	N	Licor de remolacha	R	R
Dibutilftalato	N	N	Licor de sulfito	R	R
Diclorobenceno	N	N	Licor negro de papel	R	R
Dicloroetileno	N	N	Licor verde de papel	R	R
Dicromáto de sodio, ácido	R	R	Licores	R	R
Dietyl-amina	N	N	Licores de caña de azúcar	R	R

Anexo A2. Resistencia Química de la tubería de PVC 1114 (continuación)

(Fuente: Referencia (7))

R = Resistente, C = Condicionado, N = No resistente

COMPUESTO QUÍMICO	22.8°C	60.0°C	COMPUESTO QUÍMICO	22.8°C	60.0°C
Licores de tanino	R	R	Sales de cobre, aq	R	R
Melaza	R	R	Sales de litio	R	R
Mercurio	R	R	Sales de magnesio	R	R
Metano	R	R	Sales de mercurio	R	R
Metil ciclohexano	N	N	Sales de níquel	R	R
Metil cloroformo	N	N	Sales de plata	R	R
Metil metacrilato	R	-	Sales de plomo	R	R
Metil salicilato	R	R	Sales de potasio, aq	R	R
Miel de maíz	R	R	Sales de sodio, aq	R	R
Monoclorobenceno	N	N	Sales de zinc	R	R
Monoetanolamina	N	N	Sales diazoicas	R	R
Monóxido de carbono	R	R	Sales férricas	R	R
Nafta	R	R	Salicilaldehido	C	C
Naftaleno	N	N	Soluciones platinadas	R	C
Nicotina	R	R	Sosa cáustica (hidróxido de sodio)	R	R
Nitrobenzeno	N	N	Sulfato Hidroxilamina	R	R
Nitroglicerina	N	N	Sulfato de manganeso	R	R
Nitroglicol	N	N	Sulfato de metilo	R	C
Nitropropano	C	C	Sulfuro de hidrógeno, aq	R	R
Óleum	N	N	Sulfuro de hidrógeno, seco	R	R
Orina	R	R	Tall oil (Deriv. pulpa madera)	R	R
Óxido de etileno	N	N	Terpinol	C	C
Óxido de mesitilo	N	N	Tetracloroetano	C	C
Óxido de propileno	N	N	Tetracloruro de carbono	R	N
Óxido nitroso, gas	R	C	Tetracloruro de titanio	C	N
Oxígeno, gas	R	R	Tetraetilo de plomo	R	C
Ozono, gas	R	C	Tetrahidrofurano	N	N
Parafina	R	R	Thiner para laqueado	C	N
Pegamento de origen animal	R	R	Tintes de anilina	N	N
Pentano	C	C	Tolueno	N	N
Pentóxido de fósforo	R	C	Trementina (aguarrás)	R	R
Percloroetileno	C	C	Tributil de citrato	R	-
Permanganato de potasio, 25%	C	C	Tributil de fosfato	N	N
Peróxido de Hidrógeno, 50%	R	R	Tricloroetileno	N	N
Peróxido de Hidrógeno, 90%	R	R	Tricloruro de antimonio	R	R
Petróleo	C	N	Tricloruro de fósforo	N	N
Petróleo, sulfuroso	R	R	Tricresil fosfato	N	N
Petróleo, refinado	R	R	Trietanolamina	R	C
Petróleo crudo	R	R	Trietilamina	R	R

Piridina	N	N	Trifloruro de boro	R	R
Potasa cáustica (hidróxido de potasio)	R	R	Trimetilpropano	R	C
Propano	R	R	Trióxido de Azufre, húmedo	R	C
Propileno diclorado	N	N	Trióxido de azufre,gas,seco	R	R
Propilglicol	R	R	Urea	R	R
Pulpas y jugos de frutas	R	R	Vaselina	N	N
Químicos fotográficos, aq	R	R	Vinagre	R	R
Sales de amonia, excepto fluoruro	R	R	Vinos	R	R
Sales de Bario	R	R	Whiskey	R	R
Sales de calcio, aq	R	R	Xileno	N	N

Nota: Los datos de resistencia química se dan únicamente como referencia. La información está basada principalmente en la inmersión de probetas en las diferentes sustancias y en menor grado en experiencias de campo.





Anexo A3

Tablas Complementarias



Anexo A3.1. Tablas de conversiones**Unidades de Presión**

	Pa (= N/m ²)	N/mm ² (MPa)	bar	kgf/cm ²	Torr	PSI
1 Pa = 1 N/m ²	1	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	1.02× 10 ⁻⁵	0.0075	1.45× 10 ⁻⁴
1 N/mm ² = 1 MPa	10 ⁶	1	10 ⁵	10.2	7.5× 10 ³	144.991
1 bar	10 ⁵	0.1	1	1.02	750	14.499
1 kgf/cm ²	98,100	9.81× 10 ⁻²	0.981	1	736	14.2233
1 Torr	133	0.133× 10 ⁻³	1.33× 10 ⁻³	1.36× 10 ⁻³	1	0.019
1 PSI	6,897.134	6.897× 10 ⁻³	6.897× 10 ⁻²	0.07031	51.746	1

Unidades de Longitud

	plg	pie	yd	mm	m	km
1 plg (in)	1	0.08333	0.02778	25.4	0.0254	-
1 pie (ft)	12	1	0.333	304.8	0.3048	-
1 yd	36	3	1	914.4	0.9144	-
1 mm	0.03937	3,281× 10 ⁻⁶	1,094× 10 ⁻⁶	1	0.001	10 ⁻⁶
1 m	39.37	3.281	1.094	1,000	1	0.001
1 km	39,370	3,281	1,094	10 ⁶	1,000	1

Unidades de Área

	plg ²	pie ²	yd ²	cm ²	dm ²	m ²
1 plg ²	1	-	-	6.452	0.06452	64.5× 10 ⁻⁵
1 pie ²	144	1	0.1111	929	9.29	0.0929
1 yd ²	1,296	9	1	8,361	83.61	0.8361
1 cm ²	0.155	-	-	1	0.01	0.0001
1 dm ²	15.5	0.1076	0.01196	100	1	0.01
1 m ²	1,550	10.76	1.196	10,000	100	1

Unidades de Volumen

	plg ³	pie ³	yd ³	cm ³	dm ³ (litros)	m ³
1 plg ³	1	-	-	16.39	0.01639	-
1 pie ³	1,728	1	0.037	28,320	28.32	0.0283
1 yd ³	46,656	27	1	765,400	-	-
1 cm ³	0.06102	3,531× 10 ⁻⁸	1.31× 10 ⁻⁶	1	0.001	10 ⁻⁶
1 dm ³ (litros)	61.02	0.03531	0.00131	1,000	1	0.001
1 m ³	61,023	3,531	130.7	10 ⁶	1,000	1

Unidades de Masa

	dram	oz	lb	g	kg	Mg (ton)
1 dram	1	0.0625	0.003906	1.772	0.00177	-
1 oz	16	1	0.0625	28.35	0.02835	-
1 lb	256	16	1	453.6	0.4536	-
1 g	0.5644	0.03527	0.002205	1	0.001	10 ⁻⁶
1 kg	564.4	35.27	2.205	1,000	1	0.001
1 Mg (ton)	564.4× 10 ³	35,270	2,205	10 ⁶	1,000	1

Otras unidades:

1 milla terrestre = 1,609 m = 1.609 km

1 galón (EE.UU.) = 3.785 dm³ (litros)

1 LPS = 15.85 GPM

