



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ A R A G O N ”

36
24

**CRITERIOS DE DISEÑO HIDRAULICO DE TUBERIAS DE
CONCRETO PRESFORZADO PARA AGUA POTABLE**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentan:

MARIA CANDELARIA PUEBLA ROJAS

JOSE DE JESUS PEREZ GOMEZ

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

San Juan de Aragón, Edo de México 1992



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

INTRODUCCION

I GENERALIDADES

I.1	Propiedades de los fluidos.....	1
I.2	Ecuaciones fundamentales.....	5
I.2.1	Ecuación general de energía.....	5
I.2.2	Continuidad.....	7
I.2.3	Resistencia al flujo.....	8
	a) Pérdidas por fricción.....	9
	b) Pérdidas locales.....	19
I.2.4	Golpe de ariete.....	28
I.2.5	Cavitación.....	35

II LINEAS DE CONDUCCION

2.1	Descripción.....	37
2.1.1	Conducciones a gravedad.....	40
2.1.2	Conducciones a bombeo.....	42

2.3	Tuberías.....	45
2.3.1	Carga muerta en tuberías subterráneas.....	48
2.3.2	Acciones variables.....	54
2.3.3	Acciones accidentales.....	57
2.4	Tuberías más comunes	
	a) tuberías de acero.....	61
	b) tuberías de acero corrugado.....	62
	c) tuberías de concreto reforzado.....	64
	d) tuberías de concreto simple.....	67
	e) tuberías de asbesto cemento.....	68
2.5	Piezas especiales	
2.5.1	Bridas.....	70
2.5.2	Inserciones.....	71
2.5.3	Pozos de inserción.....	71
2.5.4	Juntas de expansión.....	72
2.5.5	Tapas.....	72
2.5.6	Anillos rigidizantes.....	73
2.5.7	Intersecciones o ramales.....	73
2.5.8	Codos.....	74
2.5.9	Válvulas.....	75
2.6	Atraques.....	76
2.7	Zanjas.....	77

III LINEAS DE CONDUCCION EN CONCRETO PRESFORZADO

3.1	Descripción.....	78
3.2	Recomendaciones para diseño de los elementos que constituyen una línea de conducción en concreto presforzado.....	84
3.3	Piezas especiales.....	88
3.3.1	Codos.....	89
3.3.2	Tubos cortos.....	90
3.3.3	Registros de inspección.....	91
3.3.4	Tees.....	91
3.3.5	Adaptadores.....	92
3.3.6	Juntas.....	92
3.3.7	Reducciones.....	94
3.3.8	Cierres.....	94
3.4	Válvulas.....	95
3.4.1	Tipos más usuales de válvulas.....	95
3.5	Atraques.....	105
3.6	Zanjas.....	107
3.7	Nomenclatura.....	112
3.8	Presentación del proyecto.....	113
	a) Memoria descriptiva.....	113
	b) Presupuesto de las obras.....	114
	c) Planos de proyectos.....	115
	d) Diseño hidráulico.....	117

**IV PROYECTO EJECUTIVO DE LINEAS DE CONDUCCION EN
CONCRETO PRESFORZADO**

4.1 Revisión de una línea de conducción en concreto

- Antecedentes.....125
- Calculohidraulico.....126
- Tabla de tubería.....128
- Tabla de piezas especiales.....129
- Cantidades de obra.....131
- Cantidades de tubería.....132
- Resumen de tubería y piezas especiales.....133
- Cruceros.....135
- Seccionamiento y dimencionamiento de la zanja...136
- Codos de acero.....138
- Revisión del diseño de los atraques.....141

4.2 PLANO

CONCLUSIONES.....146

ANEXOS

REFERENCIAS

NOMENCLATURA

I N T R O D U C C I O N

Entre todos los recursos naturales el más importante para el bienestar de la humanidad es el agua. Durante milenios constituyó un patrimonio enteramente disponible del que los habitantes de la tierra se servían despreocupadamente.

Con el progreso surgieron los agrupamientos urbanos cuyas multiples actividades cada día exigen mayor cantidad de agua. El abastecimiento para suplir esta necesidad, se vuelve en extremo complejo e implica factores técnicos, sociales, económicos, legales y políticos administrativos. No es raro que la cuestión adquiera proporciones nacionales y en los casos de fronteras comunes internacionales por afectar los intereses de más de dos países.

Como es bien sabido, la ciudad de México está situada en un valle alto rodeado de montañas, formando un vaso natural que en otras épocas constituyó un enorme lago, que al llenarse causaba inundaciones incontrolables. A través del tiempo ha sido controlado mediante obras de gran magnitud como lo es el sistema de drenaje profundo, el cual está destinado a dar salida a las aguas negras y pluviales.

Nuestra ciudad es una región donde siempre se ha concentrado la mayor población del país y es considerada actualmente como una de las mayores urbes del mundo, resultado de una escalada demográfica que condujo a una gran

macrocefalia causando una serie de graves problemas de carácter urbano.

Así pues una de las grandes tareas del ciudadano del Valle de México, ha sido construir las obras necesarias para desalojar las aguas excedentes del Valle y a su vez dotarlo del agua necesaria para su subsistencia .

La cuenca de la Ciudad de México, queda comprendida en el centro de una grandiosa zona volcánica, cuyas erupciones a través del tiempo ha formado acumulaciones de lavas, tobas y brechas. Alguien la ha considerado como " la presa azolvada más grande de el mundo".

Los sistemas de agua y drenaje han aumentado y los existentes requieren continuamente de reparaciones y ampliaciones, ello explica el esfuerzo que debe desarrollarse para elaborar planes y proyectos encaminados a lograr como meta principal el óptimo aprovechamiento de los recursos destinados a estos renglones, especialmente en ésta época difícil para México, desde el punto de vista económico.

Es por tal manera que las medidas de protección a las instalaciones que constituyen los sistemas de servicio, adquiere una gran importancia y exige de las autoridades respectivas, el máximo de atención en este servicio.

La responsabilidad del control y distribución de las aguas normalmente compete a los gobiernos y las comunidades, pero estos aspectos técnicos de éstas actividades encajan dentro de las responsabilidades del ingeniero civil. Le corresponde entre otras cosas, proyectar, construir y

administrar las obras relacionadas con puertos, ríos, canales, presas, sistemas de irrigación y drenaje, alcantarillados pluviales y sanitarios, redes de abastecimiento, que será nuestro tema de estudio.

En el capítulo primero como punto de partida, se hace una descripción de los fenómenos hidráulicos que se presentan en conductos a presión, mencionando a su vez las fórmulas empleadas para valuar la magnitud de dichos fenómenos. Fórmulas obtenidas mediante resultados y conclusiones llevados a cabo dentro de ciertos límites y condiciones de experimentación por varios investigadores como Arquímedes, Newton, Pascal, Bernoulli, Chezy, entre otros.

En el segundo capítulo se hace un breve estudio de las líneas de conducción, descripción de los elementos que la constituyen, mencionando los criterios de diseño.

En el siguiente capítulo se estudia los criterios de conducción pero en concreto presforzado describiendo los elementos que la componen y posibles criterios de diseño.

El cuarto capítulo nos muestra la revisión de un proyecto ejecutivo a manera de ejemplo pretendiendo así, respaldar lo tratado en capítulos anteriores.

Por último, se presentan conclusiones y recomendaciones obtenidas en el transcurso de éste trabajo.

I GENERALIDADES

I.1.1 Propiedades de los fluidos

La característica que distingue a los fluidos reales de los perfectos es la viscosidad. Esto se manifiesta mediante esfuerzos tangenciales entre tubos de corriente.

El tipo de flujo que existe a velocidades más bajas que la crítica se conoce como régimen laminar. Este se caracteriza por el deslizamiento de capas cilíndricas concéntricas una sobre otra de manera ordenada. La velocidad del fluido es máxima en el eje de la tubería y disminuye rápidamente hasta anularse con la pared de la tubería. Estos regímenes raramente se encuentran en la práctica, salvo en problemas especiales o cuando el fluido es altamente viscoso, como el aceite.

A velocidades mayores que la crítica el régimen es turbulento, en éste régimen hay un movimiento irregular e indeterminado de las partículas del fluido en direcciones transversales a la dirección principal del flujo; la distribución de velocidades en el régimen turbulento es más

uniforme a través del diámetro, de la tubería que en régimen laminar.

A pesar de que existe un movimiento turbulento a través de la mayor parte del diámetro de la tubería siempre hay una pequeña capa de fluido de la tubería, conocida como la "capa periférica" o "subcapa laminar", (espesor de la capa límite) que se mueve en régimen laminar.

Existen dos tipos de turbulencia: una generada por efectos viscosos debidos a la presencia de paredes conocida como turbulencia de pared; otra que se produce en ausencia de la pared y que se genera por el movimiento de capas de fluidos a diferentes velocidades, a ésta última se le llama turbulencia libre.

El flujo turbulento en condiciones naturales ó artificiales y alrededor de cuerpos sólidos, es ejemplo de turbulencia de pared.

Las regiones de mezclas de chorros turbulentos y estelas, corresponden a la categoría de turbulencia libre. Diferentes teorías se han desarrollado para explicar el origen y estructura de la turbulencia. Algunas establecen que la formación de vórtice en la capa límite, como resultado de disturbios ocasionados por discontinuidades bruscas en la pared; otras la atribuyen a la influencia del esfuerzo cortante cuando ocurre un gradiente de velocidades sin discontinuidades bruscas, aun así las investigaciones hechas de la turbulencia y su desarrollo todavía no han sido del

todo satisfactorias ya que sólo se pueden estudiar como un fenómeno estadístico tanto experimental como teóricamente.

Las investigaciones de Osborne Reynolds han demostrado que el régimen de flujo en tuberías, es decir, si es laminar o turbulento depende del diámetro de la tubería, de la densidad y la viscosidad del fluido y de la velocidad del flujo. El valor numérico de una combinación adimensional de estas 4 variables, conocido como el número de Reynolds, puede considerarse como la realización de las fuerzas dinámicas de la masa del flujo respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad. Por lo tanto el número de Reynolds es:

$$R_e = \frac{VL}{\nu}$$

Para estudios técnicos, el régimen de flujo en tuberías se considera como laminar si el número de Reynolds es menor que 2000 y turbulento si el número de Reynolds es superior a 4000.

Entre estos valores esta la zona denominada "crítica" donde el régimen de flujo es impredecible, pudiendo ser laminar, turbulento ó de transición dependiendo de muchas condiciones con posibilidad de variación.

Viscosidad

La viscosidad expresa la facilidad que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa. Por ejemplo la maleza es un fluido muy viscoso en comparación con el agua; a su vez, los gases son menos viscosos en comparación con el agua. Se puede predecir la viscosidad de la mayor parte de los fluidos; en algunos la viscosidad depende del trabajo que se haya realizado sobre ellos; la tinta de imprenta, las papillas de pulpa de madera son ejemplos de fluidos que tienen propiedades tixotrópicas de viscosidad.

Viscosidad Dinámica: La viscosidad dinámica es función, principalmente de la temperatura. La dependencia con respecto a la presión es prácticamente despreciable para la mayoría de los gases y vapores, a menos que la presión resulte muy grande. La viscosidad de los líquidos disminuye con el incremento de la temperatura, la de los gases aumenta.

La unidad de viscosidad dinámica en el sistema internacional (SI) es el pascal segundo (Pas) ó también newtón segundo por metro cuadrado (Ns/m^2), ó sea kilogramo por metro segundo (Kg/ms). Esta unidad se conoce también con el nombre de Poiseville (PI).

Para los cálculos prácticos es más conveniente relacionar la viscosidad dinámica del fluido y su densidad, obteniéndose con la fórmula, obtenemos la viscosidad cinemática:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

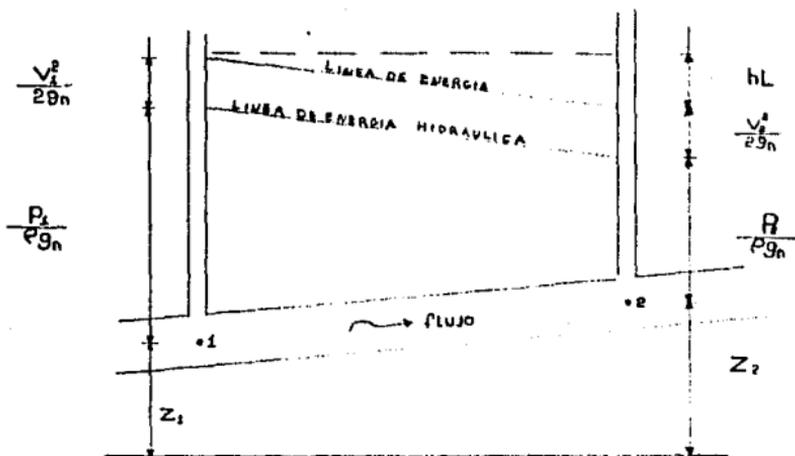
En el sistema internacional (SI) la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo (m^2/s). La unidad CGS correspondiente es el Stoke (St) con dimensiones de (cm^2/s) y el centistoke (cst), equivalente a 10^{-2} stokes que es el submúltiplo más usado. Los factores para la conversión entre las unidades se encuentran en el anexo(1 y 2).

I.2 ECUACIONES FUNDAMENTALES

I.2.1 Ecuación general de energía

El teorema de Bernoulli para fluidos reales es una forma de expresión de la aplicación de la ley de la conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería en régimen permanente y unidimensional. La energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica de la altura debida a la presión y la velocidad, es decir:

$$Z + \frac{P}{\rho g_n} + \frac{V^2}{2g_n} = H ; \quad Z + \frac{144P}{\rho} + \frac{V^2}{2g} = H$$



Si las pérdidas por "rozamiento" se desprecian y no se aporta ó se toma ninguna energía del sistema de tuberías, la altura total H en la ecuación anterior permanecerá constante para cualquier punto del flujo. Sin embargo, en la realidad existen pérdidas ó incrementos de energía que deben incluirse en la ecuación de Bernoulli. Por lo tanto, el balance de energía puede escribirse para dos puntos del flujo, como se indica en la siguiente fórmula:

$$Z_1 + \frac{14.1P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{14.1P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + hL$$

Todas las fórmulas prácticas para el flujo de fluidos se derivan del teorema de Bernoulli, con modificaciones para tener en cuenta las pérdidas debidas al "rozamiento" (fricción).

I.2.2 Continuidad

Supongamos un conducto, que trabaje y consideremos una sección recta de él por la que esta pasando una cierta cantidad de agua. "al volúmen de agua que pasa por esa sección recta en la unidad de tiempo se llama gasto, y se designa con la letra "Q"; ala velocidad con la que está pasando el agua por esa sección la designaremos con la letra "v"; llamando "S" a la sección de la vena líquida, entonces el gasto se expresa:

$$Q = SV$$

Si el diámetro de conducto es d, entonces la expresión para el gasto es:

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 V^2$$

La unidad de gasto depende de las unidades que se tomen para medir el volúmen y el tiempo.

En el sistema métrico la unidad de gasto será:

$1m^3/seg$ o sea habrá un gasto de una unidad cuando por la sección unitaria pase $1m^3$ en un segundo.

Cuando el flujo es igual en todas las secciones de un conducto, con respecto al tiempo se dice que el régimen del escurrimiento es permanente. Cuando el régimen es permanente y el conducto tiene diámetro variable, la velocidad es diferente para cada sección e inversamente proporcional a ella, de tal manera que:

$$Q = S_1 V_1 = S_2 V_2 = S_3 V_3 = \dots$$

Relación conocida con el nombre de "ecuación de continuidad".

I.2.3 Resistencia al flujo

Cuando un líquido circula por un conducto sufre pérdidas de energía; estas pérdidas se deben a las siguientes causas:

- A) Pérdidas por deformación angular (fricción ó rozamiento)
- B) Pérdidas por accesorios ó localizadas:
 - * pérdidas por entrada
 - * pérdidas por cambios de dirección
 - * pérdidas por uniones
 - * pérdidas por reducciones
 - * pérdidas por aumentos de sección
 - * pérdidas ocasionadas por válvulas

Generalmente las pérdidas más importantes son debidas a la fricción en tuberías de longitudes mayores de 300 diámetros, aunque en ciertos casos las pérdidas por accesorios pueden ser de importancia y en otros pueden incluso no existir, por ejemplo si la tubería no tiene codos, no existen pérdidas por cambio de dirección.

En cada caso particular, las que tienen mayor valor se les llama pérdidas principales y las que tienen valores pequeñas que a veces pueden despreciarse se llaman pérdidas secundarias.

a) Pérdidas por Frotamiento ó Fricción.

Estas pérdidas son las más importantes cuando la tubería es de gran longitud incluso al grado que pueden despreciarse las demás por ser muy pequeñas comparadas con ella.

De acuerdo con el teorema de Bernoulli, la pérdida por fricción es un término homogéneo con los otros términos de la ecuación, es decir, esta valuado en metros ó pies, según el sistema de unidades que se usa y depende de los siguientes factores:

- a) El material del tubo (fierro, concreto, madera, etc.).
- b) El estado de la tubería (condiciones de deterioro).
- c) La longitud de la tubería.
- d) El diámetro.
- e) La velocidad de circulación del líquido en la tubería.

De acuerdo con lo anterior, las leyes que rigen a la pérdida de carga por fricción son:

- i) Es proporcional a la longitud de la tubería.
- ii) Es inversamente proporcional al diámetro del tubo.
- iii) Es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad de circulación.

Estas son las leyes que se conocen como leyes de Chezy y se engloban en una fórmula fundamental en el cálculo de tuberías. De acuerdo con éstas leyes y considerando además que la pérdida por fricción depende también del material y del estado de la tubería, (rugosidad) si introducimos un coeficiente "f" que depende de éstos dos factores, la pérdida por frotamiento entre dos puntos de una tubería situada a una distancia L será:

$$H_f = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$$

La ecuación anterior corresponde a la fórmula de Chezy, modificada por Darcy, que es una fórmula empírica, es decir, es el resultado de la experiencia y por eso no puede demostrarse.

Los valores de f que podemos emplear se muestran en la tabla del anexo (7).

Varios investigadores han encontrado valores diferentes para los coeficientes y exponentes en la fórmula general de

Darcy, valores que dependen en muchos casos de las condiciones y límites de los experimentos.

Si despejamos a la velocidad en la fórmula modificada por Darcy tenemos:

$$V = \left(\frac{Hf}{fL} \frac{d}{2g} \right)^{1/2}$$

Para comodidad de cálculo, así como para la solución de la fórmula por medio de diagramas, es cómodo considerar una longitud de tubería de mil metros y representando por h la pérdida de carga por fricción correspondiente a dicha longitud, (en milésimas) entonces la ecuación anterior la podemos poner como:

$$V = \left(\frac{2g}{1000f} \right)^{1/2} d^{1/2} h^{1/2} = K_1 d^{1/2} h^{1/2}$$

Los diferentes investigadores en diversas clases de tuberías, han encontrado valores de los exponentes de d y h ligeramente diferentes de 0.5, así como las constantes de K_1 y la fórmula general quedaría así:

$$V = K_2 d^n h^m$$

En la cual n y m son los exponentes encontrados para cada particular como en los problemas de tuberías no solamente es importante conocer la velocidad de circulación sino también el gasto, podemos poner la fórmula:

$$Q = AV = K_3 d^k h^m$$

en donde: $k_3 = 0.7854 k_2$ y $k = 2+n$

Entre las fórmulas empíricas de algunas investigadores, tenemos las siguientes ya transformadas al sistema métrico.

* Fórmulas de Scobey para el cálculo de tubería de tablonés:

$$V = 1.02 d^{0.65} h^{0.555}$$

$$Q = 0.80 d^{2.65} h^{0.555}$$

* Fórmulas de Scobey para el cálculo de tuberías de concreto recomendadas para tuberías precoladas y de diámetros comprendidos entre 30 y 55cm, (anexo 8).

$$V = 0.993 d^{0.625} h^{0.5}$$

$$Q = 0.780 d^{2.625} h^{0.5}$$

* Para tubería pre-colada pero de diámetros mayores de 0.55m. (anexo 9).

$$V = 1.07 d^{0.625} h^{0.5}$$

$$Q = 0.837 d^{2.625} h^{0.5}$$

* Fórmula de Schoder para el cálculo de tuberías media lisas, (anexo 10).

$$V = 1.13 d^{0.67} h^{0.54}$$

$$Q = 0.89 d^{2.67} h^{0.54}$$

* Fórmulas de Schoder y Dawson para el cálculo de tuberías incrustadas, (anexo 11).

$$V = 0.932 d^{0.64} h^{0.51}$$

$$Q = 0.732 d^{2.64} h^{0.51}$$

* Fórmulas de Schoder y Dawson para el cálculo de tuberías fuertemente incrustadas, (anexo 12).

$$V = 0.76 d^{0.62} h^{0.50}$$

$$Q = 0.62 d^{2.62} h^{0.50}$$

Como guía para escoger la fórmula adecuada para cada caso particular, daremos las siguientes categorías de rugosidad.

a) Tuberías extremadamente lisas: Tuberías nuevas de bronce sin costura, estaño, plomo, vidrio y esmaltadas todas con superficie interior muy pareja a la vista y muy compacta y lisa al tacto.

b) Categoría intermedia entre la anterior y la siguiente:
Tuberías llamadas comercialmente lisas recién tendidas: fierro fundido, forjado y duela revestida interiormente.

c) Tuberías medianamente lisas: Tuberías ordinarias después de 5 años de servicio: fierro fundido, lámina de acero remachada en espiral revestidas interiormente con asfalto (lámina delgada y remaches de cabeza plana).

Fierro forjado negro y galvanizado (esta última en diámetros pequeños puede corresponder a tuberías incrustadas aún desde nuevas).

Tablones, concreto reforzado, acero remachado en espiral, galvanizado.

d) Categoría intermedia entre la anterior y la siguiente:
En esta categoría quedan comprendidas las tuberías antes mencionadas después de 10 años de servicio para proyectos de provisión de aguas.

e) Tuberías incrustadas: Son tuberías originalmente lisas deterioradas rápidamente después de 10 a 15 años de servicio.

Tuberías de lámina de acero, traslapadas, después de algunos años de servicio.

Grandes colectores de tabique con superficie interior bastante regular. Esta categoría de rugosidad es absolutamente conservadora para proyectos de redes de distribución cuya capacidad debe ser alcanzada después de 12 años de tendidas.

f) Categoría intermedia entre la anterior y la siguiente: Tuberías que tienen en lo particular una mayor rugosidad ó juntas más frecuentes que las tuberías originarias para conducción de aguas, por ejemplo tuberías de barro vitrificadas con sal interiormente, en buenas conducciones. Albañales de tabique, de diámetro, aplanados. Pequeñas tuberías de acero remachadas hechas en secciones cuya longitud maxima sea de 2 a 3 diámetros.

g) Tuberías extremadamente rugosas ó incrustadas: Tuberías con un grado de rugosidad ó deterioro mayor del ordinario, por ejemplo pequeños distribuidores en provisión de aguas, después de 30 a 40 años de servicio. Tubos de albañal de pequeño diámetro considerablemente sucio y con depósitos, o bien, tendidos con un alineamiento defectuoso.

Fórmulas de Barnes

Estas fórmulas se recomiendan para tubos nuevos y limpios y en cada una de ellas se debera agregar en cada caso un porcentaje al gasto para prever posibles deterioros y obtener la capacidad referida en la tubería.

La tabla se encuentra en el anexo (14).

Fórmula de Manning

Esta fórmula se deriva de la ecuación de Manning es muy empleada y proporciona resultados aceptables.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2}$$

En el anexo 14-A se presenta el nomograma correspondiente para obtener las pérdidas de carga para tuberías de concreto presforzado.

Fórmulas de Lea y King

Basadas en los resultados de los investigadores Marx y Wing, Noble, Maritz y Newel. Se encuentran en la tabla del anexo (15).

FORMULA DE HAZEN - WILLIAMS.

Es una fórmula aplicable para tuberías de diferentes materiales, una manera de presentarla en el sistema métrico decimal es la siguiente:

$$V = 0.85 C R^{2/3} J^{0.54}$$

Establecida en 1905 ha dado lugar a numerosas confrontaciones acerca de los valores de "C" correspondientes a los diferentes materiales, sin embargo gracias a experimentos realizados en 1963, donde se analizaron 70 conductos, permitieron determinar para tubos de concreto un valor de "C" igual a: 145. En el anexo 15-A se presenta el nomograma para obtener las pérdidas de carga para tuberías de concreto presforzado.

FORMULA DE COLEBROOK

Esta fórmula relativamente moderna es de origen teórico y experimental y recopila las observaciones sobre pérdidas de carga obtenidas primero por Nicuradse y Von Karman.

Es muy aceptada por su característica universal, ya que la altura de las rugosidades del tubo, K es una medida geométrica independiente de la naturaleza física de la pared. Además es relativamente sencillo medir valores de K para diferentes paredes a fin de obtener la ley de pérdidas de carga correspondiente.

Esta fórmula la podemos presentar de la forma siguiente :

$$\frac{1}{\lambda} = 2 \log \left(\frac{0.0001}{3.7 D} + \frac{2.51 \times 1.24 \times 10^{-5}}{VD} \sqrt{\lambda} \right)$$

$$v = \sqrt{\frac{2g DJ}{\lambda}} ; Q = \frac{\pi D^3}{4} \sqrt{\frac{2g DJ}{\lambda}}$$

Para tuberías de concreto se recomienda $K = 0.0001$ m. En el anexo 15-B se presenta el nomograma correspondiente para calcular las pérdidas de carga.

B) Pérdidas Locales.

Además de las pérdidas por frotamiento, existen las pérdidas locales. Estas pérdidas son debidas a cualquier dispositivo o causa perturbadora que aumenta la turbulencia en los conductos. Las causas principales de éstas pérdidas son la variación de forma de la sección, cambios de dirección, accesorios, (válvulas, medidores, etc). Las pérdidas locales son por lo general menores a las pérdida por fricción, y pueden ser ignoradas si la velocidad del agua es pequeña, cuando la longitud del conducto es muy grande (alrededor de 4000 veces el diámetro del conducto) ó cuando existen pocos accesorios en el conducto. Así pues considerar o no las pérdidas locales depende del ingeniero, tomando en cuenta la magnitud de éstas pérdidas y su experiencia profesional.

Expresión General

Partiendo de la expresión que conocida con el nombre de Borda-Belanger, se llega a la expresión general.

$$\Delta h = K \frac{V^2}{2g}$$

Las pérdidas locales han sido estudiadas por los laboratorios de hidráulica y los fabricantes de piezas realizan experimentos para valuar los valores de K , y se ha llegado a la conclusión que este coeficiente es prácticamente constante para números de Reynolds superiores a 50,000.

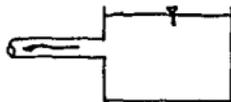
A continuación se describirán las causas más comunes de pérdidas locales:

**** Pérdida por entrada en conductos:**

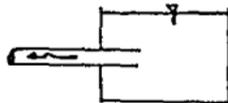
Cuando el agua contenida en un depósito penetra en un conducto, se produce una cierta pérdida de carga cuya proporción depende de las características de la entrada.

Comúnmente se presentan las siguientes formas de entrada en los conductos:

Entrada normal, forma un ángulo de 90° con el fondo ó con la pared lateral del depósito. $K = 0.5$

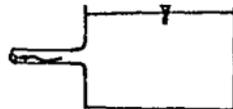


Entrada de Borda, tubería reentrante en el depósito. $K = 1.00$



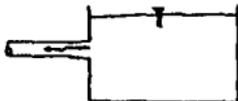
Entrada redondeada, disminuye las pérdidas.

$K = 0.20$



Entrada en forma de boquilla de campana.

$K = 0.05$

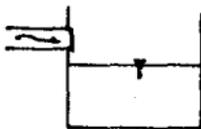


** Pérdida por entrada en un depósito

La entrada del agua en un depósito se efectúa de las siguientes maneras.

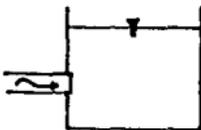
Chorro Libre

$$K = 1.0$$



Chorro Ahogado

$$K = 1.0$$



** Pérdida de carga en las curvas

Las pérdidas de carga en las curvas se pueden resumir en la siguiente tabla:

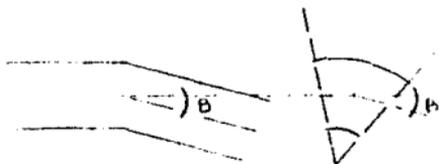
		VALORES DE K			
R/D	B	1	2	3	4
22.5		0.05	0.05	0.05	0.05
45		0.19	0.10	0.09	0.08
60		0.26	0.12	0.11	0.10
90		0.29	0.14	0.12	0.11



**** Pérdida de carga en codos**

Para las pérdidas de carga ocasionadas por estas piezas se recomienda los siguientes valores de K:

B	22.5	30	45	60	90
K	0.07	0.11	0.24	0.47	1013



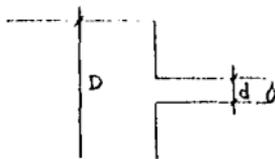
**** Pérdida de carga debida a las uniones**

Para este tipo de pérdida los valores de K aparecen en el anexo (16).

**** Pérdida de carga en reducciones bruscas de sección.**

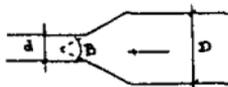
Los valores de K para este tipo de pérdidas se encuentran en la siguiente tabla.

D/d	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	3.0	4.0	5.0	10.0	∞
k	0.15	0.25	0.34	0.58	0.41	0.44	0.46	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.50



**** Pérdida de carga en reducciones graduales de sección**

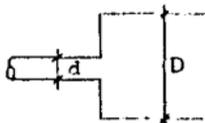
Para este tipo de pérdida de carga se presenta en el anexo 16-A.



**** Pérdida de carga en los aumentos bruscos de sección**

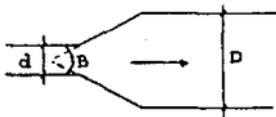
Es el caso inverso de las reducciones bruscas y los valores son los siguientes:

D/d	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	10.0	100
K	0.10	0.24	0.37	0.47	0.55	0.66	0.77	0.85	0.89	0.95	1.00



**** Pérdida de carga en los aumentos graduales de sección**

Los valores de K se presentan para este caso en el anexo 16-B



**** Pérdida de carga ocasionada por válvulas**

a) Pérdida de carga en válvulas de mariposa

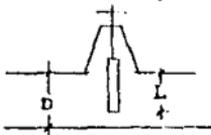
Las pérdidas de carga en este tipo de válvulas se calculan mediante la siguiente tabla:



B	10	20	30	40	45	50	60	70
K	0.52	1.54	3.91	10.3	16.7	32.6	118	751

b) Pérdida de carga en válvulas tipo compuerta

Los valores de K para este tipo de válvula son los siguientes:



L/D	0	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
K	0.12	0.15	0.26	0.81	2.06	5.52	17	98

c) Pérdidas de carga en válvulas esféricas

Para el cálculo de las pérdidas en válvulas esféricas se conceden los siguientes:



B	10	20	30	40	45	50	60	70
K	0.29	1.56	5.47	17.3	31.2	52.6	206	486

** Pérdidas de carga en otras piezas

- Válvulas de globo ó de presión, abierta: $7 < K < 10$
- Válvulas de retención: $K = 4$
- Válvulas de flotador: $K = 6$

Método de las longitudes virtuales

En ocasiones la determinación de las pérdidas de carga locales por medio de las fórmulas convencionales resulta dificultoso y un poco laborioso, por esta razón, se recurre al método de las longitudes virtuales.

El método consiste en añadir a la longitud real de la tubería, únicamente para efecto de cálculo, longitudes de tubos del mismo diámetro del conducto en estudio, capaces de causar las mismas pérdidas de carga ocasionadas por las piezas a las que sustituyen. En consecuencia la tubería adquiere cierta longitud virtual y la pérdida de carga total

se calcula mediante una de las fórmulas para pérdidas de fricción, de este modo, cualquier pieza puede ser sustituida por una longitud ficticia que calculada por la fórmula de Darcy - Weisbach sería:

$$\Delta h = \frac{f}{D} \frac{V^2}{2g} L$$

La misma pieza, de acuerdo con el proceso anterior, ocasionaría igual pérdida de carga dada por:

$$\Delta h = K \frac{V^2}{2g}$$

Como pueda verse tanto las pérdidas de carga locales y continuas, varían según la carga de velocidad, al igualar ambas expresiones y despejando la longitud nos queda:

$$L = \frac{KD}{f}$$

Con ésta expresión es posible construir tablas en las cuales se localizan longitudes ficticias para ser añadidas a la tubería y que causan la misma pérdida de carga ocasionadas por piezas de igual diámetro a las que sustituyen, (anexo 17 y 18).

De igual manera es posible, sin tener grandes variaciones, dividir las longitudes ficticias entre los respectivos, diámetros, de este modo, las longitudes ficticias pueden expresarse en número de diámetros como se muestra en la

tabla(anexo 19)

I.2.4 Golpe de Ariete

El golpe de ariete es uno de los fenómenos transitorios más complejos e interesantes de la hidráulica. Este fenómeno se presenta cuando la tubería no se encuentra trabajando en condiciones normales, es decir cuando el movimiento del flujo no es permanente, esto ocasiona variaciones de presión y gasto con respecto al tiempo en cada sección transversal del tubo. Así pues el golpe de Ariete es una variación vilocenta de la presión, por arriba y por debajo del valor de funcionamiento normal de operación del conducto a presión, como consecuencia de los cambios en las velocidades de agua, éste fenómeno además de producir un sonido parecido al de un martillazo, causa por la cual es nombrado golpe de ariete, puede destruir las tuberías, dañar las bombas, equipos etc.

El golpe de ariete es causado generalmente por el cierre brusco de las válvulas, por la detención repentina de los equipos en una línea que trabaja por bombeo etc. Por lo cual el ingeniero debe tener muy presente este fenómeno y estudiar los medios disponibles para evitar o atenuar sus efectos.

Comportamiento del Golpe de Ariete

Como se ha dicho anteriormente el golpe de ariete es una variación de presión tanto positiva como negativa debida a los cambios en las velocidades del agua. Estas variaciones se propagan a lo largo de la tubería en forma de ondas de presión. Esta onda de presión se genera en el punto donde la velocidad se ha hecho cero, es decir donde la válvula se ha cerrado, y se va desplazando a lo largo de la tubería. A medida que esta onda se propaga de capa en capa, la velocidad del agua se anula, el tubo se dilata y la densidad del agua aumenta, anexo 20-A.

Cuando por fin la onda de presión llega al otro extremo de la tubería el agua tiene que escurrir del tubo hacia el depósito debido a la alta presión existente en la tubería. Lo que provoca el cambio de sentido de la velocidad (V_i). En consecuencia, se crea una onda de presión reflejada que se propaga del depósito hacia la válvula. Detrás de esta onda la sección de la tubería recupera sus dimensiones normales y la densidad del agua vuelve a su valor original, anexo 20-B.

Al llegar ésta onda de presión a la válvula, se refleja y se desplaza de nuevo hacia el depósito. Ahora la velocidad cambia de un valor cero a un valor que es sentido inverso al del flujo normal. Así mismo sobreviene una depresión, es decir, una presión inferior a la inicial, anexo 20-C.

Al llegar ésta depresión al inicio de la tubería junto al depósito, debido a que la presión interior del tubo es menor a la normal, el agua tiene que fluir del depósito hacia la tubería y la velocidad nuevamente cambia de valor, el tubo vuelve a sus dimensiones normales y el agua recupera su densidad original, anexo 20-D

Si la válvula permanece cerrada se produce un nuevo cambio de presión y el ciclo se repite. La afectación de estos ciclos sería infinita, sino fuera por las pérdidas de fricción del agua con las paredes del tubo, la fricción interna provocada por los sucesivos cambios de velocidad en las secciones transversales de la tubería y en la energía cedida al depósito.

Periodo de la Tubería

Se define como el tiempo necesario que la onda de presión vaya y vuelva de su punto de origen (válvula cerrada) al otro extremo de la tubería. También el periodo de la tubería es conocido como: tiempo de reflexión, periodo crítico ó intervalo de tiempo y se representa por:

$$\mu = \frac{2L}{a}$$

Cuando el tiempo empleado en cerrar la válvula es menor al periodo de la tubería se dice que se trata de un cierre

instantáneo ó brusco, y si el cierre de la válvula se produce en un tiempo mayor al período de la tubería se trata de un cierre lento.

Ecuaciones para Calcular el Golpe de Ariete

Ecuación de Joukowsky

Este autor al estudiar el fenómeno formuló una ley que es aplicable a cierres instantáneos de válvulas y puede interpretarlos de la siguiente forma: la suspensión brusca de la velocidad en conductos a presión de origen a una onda de presión, que se produce junto a la válvula, cuya magnitud es proporcional a la variación de la velocidad del agua y la celeridad.

Esta Ley puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta h_{\max} = \frac{a}{g} V$$

El valor de la celeridad de la onda puede ser obtenida mediante la siguiente formula:

$$a = \sqrt{\frac{g}{\frac{1}{E'} + \frac{D}{Ee}}}$$

Esta ecuación fue obtenida a partir de la deducción de la ecuación diferencial del golpe de ariete. En el anexo 21-A se pueden consultar los módulos de elasticidad de algunos materiales, para tubos de concreto presforzado se puede dar un valor aproximado de $E = 396000 \text{ kg / cm}^2$

La Comisión Federal de Electricidad recomienda la siguiente ecuación para determinar la celeridad de la onda, tomando en cuenta las condiciones de apoyo en los extremos de los tubos:

$$a = \sqrt{\frac{K_w}{1 + \frac{K}{E} \frac{D}{e} C_1}}$$

Donde :

$C_1 = \frac{1}{2}$ Para tubos asegurados sólo en el extremo de aguas arriba

$C_1 = 1.1$ Para tubos asegurados a todo lo largo contra movimiento axial.

$C_1 = 1$ Para tubos asegurados con juntas de expansión a todo lo largo.

En el anexo 21-A se proporcionan los valores de la relación de poisson (μ_0). En el anexo 21-B se presentan las densidades de algunos líquidos y en los anexos 21-C y 21-D se pueden obtener los valores de la celeridad para los diferentes casos.

Ecuaciones Conjugadas de Allievi

El ingeniero italiano Lorenzo Allievi dedujo la ecuación diferencial del golpe de ariete, que al emplearla para cierres instantáneos se llega a la misma expresión que propuso Joukowsky, sin embargo para el caso de los cierres lentos, es decir, cuando el cierre de la válvula se lleva a cabo en un tiempo mayor al periodo de la tubería, se recomienda emplear las ecuaciones conjugadas de Allievi. Estas expresiones nos permiten analizar el problema del golpe de ariete en su aspecto más general, que comprende operaciones rápidas o lentas.

Las ecuaciones ya deducidas y simplificadas son las siguientes:

$$Z_1' - 1 = 2K (1 - G_1 Z_1)$$

$$Z_1' + Z_2' - 2 = 2K (G_1 Z_1 - G_2 Z_2)$$

$$Z_2' + Z_3' - 2 = 2K (G_2 Z_2 - G_3 Z_3) \dots Z_{n-1}' + Z_n' = 2K (G_{n-1} Z_{n-1} - G_n Z_n)$$

Una vez obtenidos los parámetros z_{2n} y z_n , la sobrepresión por golpe de ariete puede deducirse de la expresión:

$$Z_n'' = \frac{H}{H}$$

$$H = Z_n'' H$$

Atualmente se resuelve este problema usando la discretización de las ecuaciones diferenciales de continuidad y movimiento en diferencias finitas desarrollando esquemas o métodos como el de las características con el empleo de computadoras de acuerdo con la magnitud del problema, como lo menciona la referencia (3)

I.2.5 Cavitación

Es un fenómeno que se presenta en los líquidos, ocasionado por una baja de presión debida a efectos producidos por un líquido al escurrir, consiste en un cambio repentino del estado líquido al de vapor, cuando ocurre en algún punto un cambio de presión llegando un valor crítico ó por debajo de lo conocido como presión de vaporización del líquido para la temperatura local del mismo.

Como consecuencia de ésta baja de presión el líquido entra en ebullición y se forman cavidades ó burbujas de vapor de agua que son transparentes por la corriente hasta puntos donde la presión tiene un valor suficiente para que se produzca la condensación de tales concavidades, (implosión)

misma que tiene lugar en forma violenta. Esto ocasiona presiones muy grandes y localizadas que pueden ocasionar daños graves en los componentes mecánicos de un sistema hidráulico pues se acompaña al fenómeno un golpeteo y fuertes vibraciones. La posibilidad de cavitación puede evaluarse en términos del coeficiente de cavitación:

$$\sigma = \frac{P - P_v}{\rho \cdot \frac{V^2}{2g}}$$

En la siguiente tabla se presentan los valores de la presión de vaporización del agua para diferentes temperaturas de la misma.

TEMPERATURA (°C)	TENSION DE VOPOR		DENSIDAD	
	(mm)	(Hg)		(kg por cm ³)
15	12.7		0.0174	0.999
20	17.4		0.0238	0.998
25	23.6		0.0322	0.997
30	31.5		0.0429	0.996
35	41.8		0.0572	0.994
40	54.9		0.0750	0.992
45	71.4		0.0974	0.990
50	92.0		0.1255	0.988
55	117.5		0.1602	0.986
60	148.8		0.2028	0.983
65	186.9		0.2547	0.981
70	233.1		0.3175	0.978
75	288.5		0.3929	0.975
80	354.6		0.4828	0.972
85	433.0		0.5894	0.969
90	525.4		0.7149	0.965
95	633.7		0.8620	0.962
100	760.0		1.0333	0.958
105	906.0		1.2320	0.955
110	1075.0		1.4609	0.951
115	1269.0		1.7260	0.947
120	1449.0		2.0270	0.943

B) Conducciones a bombeo, cuando se tenga una elevación superior ala fuente de almacenamiento el tanque regulador o punto de llegada que viene siendo un caso común.

CAPACIDAD

El diámetro de la línea de conducción se determina con el gasto máximo diario (Q md).

$$Q_{md} = \text{Pob. proyecto} \times \text{dotación} \times 1.2, \text{ en L.P.S}$$

$$\text{Coeficiente de variación diaria} = 1.2$$

Los principales factores que deben considerar para el diseño de una línea de conducción son los siguientes:

A) Gasto por conducir. Las tuberías de policloruro de vinilo son recomendables para gases o cuando se utilizan tuberías con diámetros de (6") 150 mm y menores. Para diámetros mayores hasta 500 mm., y cargas de operación menores a 14.0 Kg/cm²., son recomendables las de asbesto cemento. Para diámetros de 610 mm., y mayores se debe hacer un estudio económico muy cuidadoso comparando tuberías de asbesto cemento, acero y concreto armado.

B) Calidad del agua por conducir. En las conducciones de agua se debe conocer si es turbia, incrustante o si tiene

fierro y magnesio, ya que se pueden afectar notablemente la capacidad de los conductos.

C) Topografía. La tubería que se debe emplear en una conducción se define principalmente por las características topográficas de la línea.

D) Clase del terreno por excavar. En general las tuberías de la conducción deben quedar enterradas, principalmente las de asbesto cemento y PVC. El trazo más adecuado puede ser el que permita disminuir al máximo posible excavaciones en roca, ya que éstas incrementan costos y tiempo.

E) Afectaciones. Para el trazo de la línea se deben tomar en cuenta los problemas resultantes por la afectación de terrenos ejidales y particulares. De ser posible se utilizarán los derechos de vía de canales de agua, caminos, ferrocarriles, líneas de transmisión de energía eléctrica y linderos.

F) Cruzamientos. En el trazo topográfico por donde pasa la conducción se debe estudiar y establecer los sitios más adecuados para el cruce de ríos, caminos, vías férreas, etc.

2.1.1 Conducciones a gravedad

Considerando que la descarga es libre el escurrimiento de agua en una tubería por la expresión que se da a continuación:

$$H = v^2 + h_f + h_g \text{ _____ (1)}$$

El diseño, en el cálculo hidráulico de una conducción, es el caso que más se trabaja; es decir, conocida la carga disponible "H" y la longitud de la línea "L", valores que se obtienen en campo del plano topográfico de la conducción, así como el gasto "Q" por conducir y, analizando los factores mencionados, se determina el tipo (asbesto cemento, PVC, acero, etc.), diámetro y clase de tubería por usar (de acuerdo a las presiones de operación). En el cálculo hidráulico se tendrá cuidado de utilizar los diámetros internos reales de las tuberías.

En la Dirección General de Construcción de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillados, se utiliza, para el cálculo hidráulico la fórmula de Manning, que puede ser sustituida para otras oficinas de proyecto por una fórmula exponencial equivalente como la de Darcy-Weisbach, etc, por lo tanto:

de la expresión 1 se tiene:

$$H = \frac{v^2}{2g} + h_f + h_g$$

$$H = \frac{V^2}{2g} + hf = \frac{Q^2}{2gA^2} + \frac{10.3 n^2 L Q^2}{D^{16.49}} \quad \frac{Q^2}{12.09 D^4} + \frac{10.3 n^2 L Q^2}{D^{16.49}}$$

Sin considerar las pérdidas secundarias:

$$H = \frac{0.083 Q^2}{D^4} + \frac{10.3 n^2 L Q^2}{D^{16.49}} = \frac{0.083 Q^2}{D^4} + K L Q^2$$

(siendo $K = \frac{10.3 n^2}{D^{16.49}}$)

Para determinar el diámetro "D" (diámetro teórico) se utiliza el Nomograma de Manning, si el diámetro que se determine coincide con un diámetro comercial, será el definitivo, siempre y cuando se verifique la expresión anterior y topográficamente sea factible utilizar la tubería considerada. Si el diámetro teórico no coincide con uno comercial o topográficamente no sea posible o conveniente utilizar un solo diámetro, el problema se resuelve en dos o más diámetros.

Por lo tanto la expresión 1 queda como sigue:

$$H = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g} + hf_1 + hf_2$$

finalmente:

$$H = \frac{0.083 Q^2}{D_1^4} + \frac{0.083 Q^2}{D_2^4} + K_1 L_1 Q^2 + K_2 L_2 Q^2 \quad \text{7}$$

De la expresión 7 se obtienen las longitudes de los tramos correspondientes a los diámetros D_1 y D_2 .

Obtenidas las longitudes L_1 y L_2 se procede a verificar la expresión 7. A continuación se procede a dibujar los gradientes hidráulicos para los diámetros comerciales obtenidos, tomando en cuenta el perfil topográfico de la conducción, procurando obtener las menores presiones de trabajo que sea posible. Finalmente se obtiene las clases de tuberías por usar, se localizan las válvulas de purga de aire, desagües y se realiza el diseño de cruceros.

Estructuras: generalmente las estructuras más importantes en conducciones a gravedad son las cajas rompedoras de presión. En conducciones muy largas es recomendable y a veces obligado dividir la línea en 2 ó más tramos localizando dichas estructuras, si el perfil lo permite, a fin de lograr el mejor funcionamiento hidráulico de la conducción.

2.1.2 Conducciones a bombeo

El bombeo consiste en elevar el agua desde un pozo, cárcamo, etc., hasta el depósito de regulación, utilizándose para tal objeto un equipo de bombeo.

La bomba produce siempre un salto brusco en el gradiente hidráulico que corresponde a la energía H_m , comunicada al agua por la bomba. H_m es siempre mayor que la carga total de elevación o altura geométrica contra la cual trabaja la bomba, para poder vencer todas las pérdidas de energía en la tubería.

La carga de presión H_m , generada por la bomba se llama generalmente "carga manométrica", o "carga dinámica total", e indica siempre la energía dada al agua a su paso por la bomba.

Si se considera como captación un pozo, la carga dinámica total esta dada por la siguiente expresión:

$$H_m = \frac{V^2}{2g} + hf + h_e + h_i + h_s$$

Para determinar las pérdidas por fricción en el conducto se utiliza la fórmula de Manning. En líneas a bombeo si es conveniente considerar las pérdidas secundarias. Se deben considerar los efectos producidos por golpe de ariete para la protección del equipo de bombeo y la tubería de conducción.

Proyecto de la Conducción. En el proyecto de una línea de conducción a bombeo, es necesario determinar primeramente el diámetro mas económico para el gasto por conducir, tomando en cuenta las características topográficas de la línea. La tabla que se utiliza es la impresa por la Dirección General de construcción de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de la S. A. H. O. P.

En las conducciones, las velocidades que se obtengan deben ser menores de 1.60 m/seg, por lo tanto, los diámetros por utilizar en el cálculo del diámetro más económico deben satisfacer este requisito, eligiendo previamente el tipo de tubería por usar. La tabla de cálculo de diámetro más económico está constituida de 4 partes:

En la primera, se establecen las características hidráulicas para los tres diámetros considerados, las pérdidas totales de energía y la potencia requerida en función de éstas. En la segunda se determina la clase de tubería por usar, tomando en cuenta la presión normal de obtención más la sobrepresión por golpe de ariete.

En la tercera se obtiene el presupuesto (costo total de la conducción) para las tuberías consideradas y, finalmente, en la cuarta parte, se obtiene el cargo anual de bombeo, el cargo de amortización y el costo anual de bombeo para operación de 365 días, cuyo valor mínimo corresponden al diámetro más económico.

Hecho lo anterior, en el plano topográfico de la conducción se dibuja la línea de la carga estática; la línea del gradiente hidráulico, indicando su pendiente y el gasto por conducir, la línea de sobrepresión de golpe de ariete el 20% de la sobrepresión total, con respecto a la cual se determinan las clases de tubería por usar.

2.2 Elementos que constituyen una línea de conducción

Para una fuente de abastecimiento, las captaciones situadas en las orillas pueden también utilizarse como pozo al que vaya la tubería de aspiración de las bombas. Cuando las captaciones están situadas a mucha distancia de las bombas, el agua pasa ordinariamente por gravedad al paso de elevación, en la orilla del río, lo cual requiere un tubo o conducto de gran sección para que la velocidad del agua sea reducida, y evitar que que llegue a producirse una sedimentación. Los túneles son costosos, pero se averían con menos facilidad que los tubos. Un tubo sumergido debe protegerse todo lo posible, enterrándolo en una zanja, rodeándolo con rocas o manteniendo en su lugar con pilotes.

2.3 Tuberías

Una tubería puede definir como el conjunto formado por el tubo y su sistema de unión. Pueden usarse tuberías para conducir grandes caudales de agua, trabajando por gravedad en cuyo caso hacen el mismo papel que los canales abiertos y los acueductos.

Desde hace muchos años se ha estado transportando el agua utilizando tuberías hechas de arcilla, madera, plomo, cobre, fierro fundido, acero, cemento, y bambú. A través del tiempo parte de éstos materiales han sido desechados, los más

comunes en los últimos años son: asbesto, acero, concreto reforzado y de plástico (polietileno y PVC).

Para diseñar las tuberías se deberá contar con todos los datos referente al perfil hidráulico, como son: las fuerzas producidas por el líquido en movimiento, las pérdidas de carga, por fricción y locales; diámetro económico y espesor mínimo, presiones negativas, etc.

En general se admite el método elástico para analizar las estructuras, cuando la naturaleza del problema lo requiera, se podrá admitir comportamiento inelástico de los materiales, siempre que la ocurrencia de dicho comportamiento no implique daños inaceptables en las tuberías.

Se considera que aquellas conducciones que tienen una presión de operación menor a 1 Kg/cm^2 , sin límite de tamaño y las que tengan diámetros menores a 15.0 cm, sin límite de presión, no requieren diseño y quedan fuera del alcance del manual las que estén trabajando con presión interna superior a los 200 Kg/cm^2 .

Especificaciones de Construcción y Control de Calidad.

Cuando se tengan que hacer excavaciones, las especificaciones deberán referirse a: los requisitos para prevenir fallas de taludes o del fondo; a las operaciones de bombeo y uso de ataguías cuando el nivel freático sea poco profundo, también deberá establecer el remplazo del suelo en

el fondo por concreto, las operaciones de limpieza de excavaciones y los requerimientos de pantalla de concreto pobre.

Los conductos circulares y elípticos se podrán construir en líneas paralelas pero no monolíticamente. Cuando se destruyen en paralelo, deberán estar separadas una distancia que permita el funcionamiento del equipo adecuado para lograr la buena captación del relleno. Se exigirá que la captación en tuberías enterradas sea al menos del 90% abajo de la clave, y 85% arriba de la clave, de la densidad máxima del relleno determinada según la norma ASTM-D-698.

Acciones

Para el análisis y diseño de tuberías se consideran las acciones debida a los siguientes tipos de solicitudes: permanentes, variables y accidentales.

Acciones Permanentes

Las acciones permanentes en tuberías pueden ser:

- A) Carga muerta debido al peso de rellenos.

B) Carga muerta debido al peso propio de piezas especiales (anillos, codos, bridas, etc.) y al del fluido en conducción normal de operación.

C) Empuje estático de tierras o líquidos.

D) Deformaciones, desplazamientos impuestos.

E) Aislamientos.

Precios unitarios

Para valuar las acciones permanentes se emplearán los pesos unitarios especificados, de acuerdo con las características mas desfavorables que ahí se consignan.

2.3.1 Carga muerta en tuberías subterráneas

Se admite que las cargas provocadas por los rellenos sobre el tubo se presentan cuando se alcanza un estado limite de asentamientos. En estas condiciones las fuerzas que se desarrollan en la frontera del prisma de suelo se aloja un tramo de tubería, (ver anexo 21).

Para determinar las cargas resultantes del peso del material de relleno sobre las tuberías, estas se clasifican como se indica a continuación, (anexo 22).

- A) Tuberías en trinchera.
- B) Tuberías en terraplén.
 - B.1) Con proyección positiva.
 - B.2) Con proyección nula.
 - B.3) Con proyección negativa.
- C) Tuberías en condiciones especiales.
 - C.1) trinchera ancha.
 - C.2) trinchera imperfecta.
 - C.3) Túnel.

A) Tuberías en trinchera. La carga vertical del relleno sobre tuberías rígidas se calcula con:

$$W_c = C_d B \gamma H \quad \text{I.1}$$

El coeficiente C_d es función de la relación H/H_d y de los coeficientes λ_1 y λ_2 . En el anexo 23 aparecen los valores de C_d para distintos tipos de suelo.

La carga calculada con la ecuación I.1 es la carga total que actúa en un plana horizontal que pasa por la clave superior del tubo y llega hasta las paredes laterales de la trinchera. Si el conducto es rígido, como los de concreto o fierro colado de espesor grueso, prácticamente toda la carga será soportada por el tubo, puesto que las columnas laterales

de relleno son respectivamente comprensibles y no pueden resistir más que una pequeña fracción de la carga total en ese plano horizontal.

Si el conducto es flexible como los de acero liso, hierro dúctil o metal corrugado, la rigidez de las columnas laterales, si están bien compactas, puede ser semejante a la del tubo, en éstas circunstancias el suelo soporta una parte de la carga total y la carga sobre el tubo se calculará con la ecuación siguiente:

$$W_c = C_d \cdot B_c \cdot B_d \text{ ----- I.2}$$

En situaciones intermedias se pueden interpolar valores entre las ecuaciones I.1 e I.2. (anexo 23).

B) Tuberías en terraplen. La relación de proyección p. se define la relación de la distancia H entre el terreno natural y la parte superior del tubo (clave superior) al ancho Bc. En el caso de tuberías con proyección positiva la carga se calcula con la siguiente formula:

$$W_c = C_c \cdot B_c^2$$

Los valores de éste coeficiente aparecen en la fig. del anexo (24).

La relación de asentamiento se calcula como:

$$r_{sd} = \frac{(S_m + S_p) - (S_f + d_e)}{S_m}$$

En la figura se indican estos asentamientos (anexo 25).

En la tabla se proporcionan valores empíricos de la relación de asentamientos r_{sd} (anexo 26).

Para tuberías con proyección nula, $p = 0$, la carga se calcula como:

$$W_c = H + H_c$$

Para tuberías con proyección negativa ver anexo (27).

En este caso p' es la relación de proyección negativa y se obtiene como el cociente de la distancia desde la superficie natural del terreno hasta la clave superior del tubo entre el ancho B de la zanja. El valor de r_{sd} para proyección negativa esta dado por:

$$r_{sd} = \frac{S_c - (S_d + S_f + d_e)}{S_d}$$

C) Tuberías en Conducciones Especiales. Para las tuberías en trincheras anchas, se define como "ancho de transición" B aquel que conduce a obtener a una tubería con proyección positiva. Si el ancho de la zanja, a nivel de la parte superior del tubo, es menor que el ancho de transición

entonces debe substituirse sobre el ancho real en la ecuación I.1. Cuando el ancho de la excavación directamente sobre el tubo (prisma inferior) sea igual o mayor que el ancho de transición, la carga se calculará considerando que la trinchera es ancha por lo tanto se substituirá el ancho B_d en la ecuación I.1 en lugar del valor real. En el anexo (29) se presentan curvas anchas de transición.

La trinchera imperfecta es un método para alojar conducciones con el objeto de minimizar las cargas que provocan los terraplenes altos en tuberías con proyección positiva. Con este método primero se instala la tubería en proyección positiva, luego se rellena y compacta en una distancia cuando menos igual a dos veces el diámetro a cada lado y una vez el diámetro arriba de la clave superior del tubo. En seguida, se excava una zanja con ancho igual al diámetro exterior del tubo, directamente sobre el tubo. Esta zanja se rellena con material comprensible y se termina de construir el terraplén en forma normal.

Al emplear este método deberá tenerse cuidado que no vayan a existir asentamientos diferenciales en la parte superior del terraplén.

En estas condiciones la carga sobre la conducción se calcula con la ecuación siguiente:

$$W_c = C_v \cdot B^2 d$$

Donde el coeficiente C_n se obtiene en el anexo 28 empleando la relación H/B_c .

Para tuberías en túneles, la carga sobre el tubo se calculará como:

$$W_c = C_t B_c (H - B_c)$$

Los valores de C_t son los mismos que los de C_d en el anexo 23, con H media desde la parte superior del túnel hasta la superficie del terreno.

Los valores de C se pueden obtener del anexo (30).

Deflexión de tubos Flexibles Enterrados

La deflexión vertical provocada por el relleno en un tubo flexible enterrado se calculará con la ecuación:

$$dc = D \frac{K_1 W_c r^3}{EI + 0.061E'r^3}$$

Para tubos de acero corrugado la deflexión calculada con la EI 10 no debe exceder del 5% del diámetro nominal.

Los valores de la constante K se dan en la tabla del anexo (30').

2.3.2 Acciones variables

Las acciones variables en tuberías deben ser:

A) Carga viva por tránsito de vehículos en la superficie del relleno.

B) Carga por impacto de fuerzas de flotación.

C) Efectos causados por cambios de temperatura.

D) Fuerzas producidas por el líquido en movimiento (como provocadas en cambios de dirección, por flujo transitorio golpe de ariete).

E) Vibraciones provocadas por flujo permanente a alta velocidad.

F) Efectos de la socavación.

A) **Cargas Vivas por Tránsito de Vehículos en la Superficie del Relleno.** Estas cargas se presentan en conductos cuyo relleno está sometido al tránsito de vehículos como en carreteras, vías de ferrocarril, aeropuertos, etc.

Son de especial importancia en aquellos casos en que el relleno tiene poca altura. Independientemente del diámetro del tubo, si el relleno excede los 8.0 m de altura sobre la

clave superior, la carga viva por tránsito de ferrocarril y camiones es nula; si el relleno excede los 4.0 m, solo la carga viva del ferrocarril es considerado.

La carga viva por unidad de longitud, sobre un tubo enterrado, esta dada por:

$$W_T = \frac{I_c C_t P}{L} \quad \text{I.11}$$

En la ecuación (I.11) L es la longitud real de un tubo cuando es menor o igual a 1.0 m. Para tuberías continuas o construidas de tramos con longitud mayor que 1.0 m. L se tomará igual a 1.0 m.

El factor de impacto I_c es igual a la unidad para cargas estáticas superficiales. Para otras circunstancias se sugieren valores comprendidos entre 1.5 y 2.0; el primero corresponde a carreteras de terracería con pavimentos flexibles.

El coeficiente de influencia C_t representa la fracción de la carga P que se transmite por el suelo hasta el conducto, su valor se obtiene con la integración de Holl a la ecuación de Boussinesq para distribución de esfuerzos en un medio elástico cuando en la superficie actúa una carga concentrada P (anexo 31), su valor explícito esta dado por la siguiente ecuación:

$$C_t = 0.25 - \frac{1}{2H} \left[\text{Sen}^{-1} H \sqrt{\frac{A^2 + B^2 + H^2}{(A^2 + H^2)(B^2 + H^2)}} - \frac{A B H}{(A^2 + H^2)(B^2 + H^2)} \left(\frac{1}{A^2 + H^2} + \frac{1}{B^2 + H^2} \right) \right]$$

Para el caso particular en que la carga actúe en una esquina del área cargada, los valores CT se pueden obtener de los anexos (32 y 33).

C) **Efectos debidos a fuerzas de flotación.** Para casos en que puedan existir fuerzas de flotación como, sera necesario disponer de un peso suficiente para lograr un comportamiento adecuado de la tubería. La flotación se podra evitar mediante alternativas de construcción tales como:

*** Cambiar la tubería por otra más pesada.

*** Encamisar en concreto las tuberías de acero.

*** Proporcionar atraques y anclajes especiales.

D) **Efectos causados por cambio de temperatura.** Los cambios de temperatura provocan que la tubería tenga dilataciones o contracciones que se calcularán con la ecuación siguiente:

$$\Delta L = \alpha \Delta T L$$

En el anexo 34 se proporcionan valores del coeficiente para distintos materiales.

E) **Fuerzas producidas por el líquido en movimiento.** Las fuerzas dinámicas causadas por la variación de la cantidad de movimiento del fluido se calcularán de acuerdo con lo estipulado en conducciones a presión. Estos criterios se aplicarán también para cambios de dirección o de sección transversal de la tubería. La variación de la presión interior en un conducto por cambios bruscos en el gasto se calculará con los criterios de "golpe de ariete".

F) **Vibraciones provocadas por flujo permanente a alta velocidad.** En todas las tuberías deberá evitarse que se presente el fenómeno de resonancia y por consiguiente con falla, para lo cual deberá cumplirse que la velocidad del fluido sea menor que la velocidad crítica.

G) **Efectos de socavación.** La socavación máxima que puede ocurrir en una tubería se cuantificará aplicando los criterios de "Hidráulica Fluvial".

2.3.3 Acciones Accidentales

Las acciones accidentales en una tubería son las que pueden alcanzar valores significativos solo durante lapsos

muy breves; no son provocadas por el funcionamiento propio sino por acontecimientos extraordinarios (sismos, viento, nieve, explosiones, etc.)

Para los fines de análisis y diseño de tuberías, enterradas o no, que se encuentren en una zona sísmica, será suficiente tomar en cuenta la acción accidental provocada por temblores, ya que es la que causa los efectos más desfavorables.

Para tuberías no enterradas, que tengan apoyos fijos (silletas, pedestales de cualquier otro tipo), la acción sísmica es transmitida por los soportes (apoyos) a la conducción. El comportamiento de este tipo de estructuras puede estudiarse satisfactoriamente con modelos de vigas continuas, sometidas a movimientos laterales de la base definido por los espectros de diseño.

Para tuberías enterradas el análisis y diseño sísmico deberá realizarse teniendo presente las siguientes especificaciones:

A) Las curvaturas y deformaciones longitudinales para las que se revise la tubería deben ser las más desfavorables que ocurran al nivel de la tubería para los distintos tipos de ondas sísmicas que puedan afectar el sitio.

B) Cuando no se disponga de la información requerida en el inciso anterior, las curvaturas y deformaciones máximas para las que se revise la tubería serán las siguientes:

$$K_{...} = -\frac{a}{c}$$

Para calcular estas deformaciones se admite que el suelo impone las tuberías desplazamientos iguales a los que se producirán si la conducción no existiera, es decir, se supone que la interacción entre el suelo y la tubería es despreciable. Se admite que el movimiento del suelo en la vecindad de la tubería es el movimiento de campo libre.

C) Las curvaturas y deformaciones máximas que pueda causar cualquier sollicitación sísmica serán las siguientes:

1) Tubo de acero liso o corrugado. Se deberá cumplir que:

$$K \text{ máx.} < 0.01/r$$

$$E \text{ máx.} < 0.006$$

r es el radio exterior de la sección transversal.

2) Tubos de concreto reforzado o perforado. Se deberá cumplir que:

$$K \text{ máx. } < 0.001/r$$

$$E \text{ máx. } < 0.001$$

3) Tubos de concreto reforzado o asbesto cemento. Se deberá cumplir que:

$$K \text{ máx. } < 0.0004/r$$

$$E \text{ máx. } < 0.0004$$

Para los fines de cálculo y revisión del estado de esfuerzos en tuberías, se admitirá que se comporta, en términos generales como un cascarón cilíndrico sometido a esfuerzos de membrana y de flexión. En las conducciones que trabajen bajo la acción de presión interna y carga externa, los esfuerzos máximos se calcularán con la combinación más desfavorable que se espera pueda ocurrir durante la operación de la conducción.

2.4 Tuberías más comunes

a) Tuberías de Acero

Las tuberías de Acero podrán estar o no ahogadas en concreto. Las que no estén ahogadas podrán tener apoyos intermedios o estar completamente enterradas.

Los esfuerzos permisibles para las distintas condiciones de diseño, de acuerdo con las especificaciones de la ASTM, son los que se consignan en la tabla 1.8 (anexo 35).

El espesor de cualquier tubo después de su fabricación y sin incluir las tolerancias por desgaste no será menor de 6.0 mm. Siempre que se pueda asegurar la adherencia total de su revestimiento con el tubo, los cálculos de diseño se podrán hacer considerando un espesor igual al espesor nominal de diseño más S_c/S_m veces el espesor nominal del revestimiento, siendo S_c la resistencia de diseño del revestimiento y S_m la resistencia de diseño del tubo.

Las uniones longitudinales y circunferenciales en los tubos se harán con soldadura doble a tope con penetración completa, se deberán inspeccionar radiográficamente al 100%. La eficiencia permisible de la unión será de 100%. Para tubos fabricados con acero de alta resistencia se empleará, en adición, la inspección magnética de partículas.

Las tuberías de acero no ahogadas en concreto, deberán someterse a una prueba hidrostática que permita examinar visualmente sus juntas y uniones. La presión de prueba será

igual a 1.33 veces la presión para la condición normal de diseño, pero no deberá ser mayor a la que provoque un esfuerzo del 85% del esfuerzo mínimo de fluencia del acero empleado. En la tuberías con apoyos y/o juntas de expansión se deberá calcular una fuerza de fricción dada por 7.44 Kg. por cm. de circunferencia del tubo. Los esfuerzos longitudinales provocados por esta fuerza se combinarán con aquellos longitudinales que se obtengan por otros efectos.

b) Tuberías de Acero Corrugado

Las tuberías de acero corrugado en cuanto a la denominación del material podrán ser de acero corrugado o placa estructural corrugada, que cumpla con las especificaciones ASTM-A444. La forma de la sección transversal podrá ser circular, elíptica, combinada o en arco. El espesor mínimo quedará determinado por el diseño estructural de acuerdo con lo que aquí se indica. Cuando exista evidencia que la corrosión o abrasión disminuirán el espesor, deberá tomarse en cuenta ese efecto en la modificación de tal espesor.

Para el diseño estructural de tuberías flexibles enterradas, deberán considerarse los cuatro criterios de diseño siguientes:

- A) Resistencia de Costura.
- B) Rigidez por Manejo e Instalación.
- C) Pandeo de la Pared del Tubo.
- D) Deflexiones.

Los tubos de acero corrugado con sección circular o combinada podrán tener sus uniones y conturas atornilladas o soldadas.

Cuando la corrugación sea helicoidal la costura deberá hacerse con soldadura continua. Cuando se requiera usar placa estructural corrugada, las uniones y costuras deberán ser atornilladas; los tornillos deberán tener cuando menos un diámetro de 1.9 cm. (3/4 de pulgada) los tornillos y teclas deberán ser de acero galvanizado y cumplir con la especificación ASTM-A-449; el proceso de galvanizado debe satisfacer la especificación ASTM-A-153.

Para anclar los tubos de acero corrugado en piezas de concreto deberán emplearse tornillos, rectos o curvos, que satisfacen las dimensiones indicadas. El material de éstos pernos debe satisfacer la especificación ASTM-A-563 grado c.

Las uniones de los tubos de acero corrugado podrán ser de alguno de los siguientes tipos: con banda corrugada, con anillo liso de acero y especiales (anexo 36 y 37).

El incremento de la longitud de la tubería, debido a las uniones, no deberá exceder de 7.5 cm. por cada una de ellas.

c) *Tuberías de Concreto Reforzado*

Los tubos de concreto reforzado podrán tener refuerzos de alambre o varilla; deberán llevar, en uno de sus extremos, una embocadura que permita juntarlos para formar una tubería cuya superficie interior sea continua y uniforme, de tal forma que evite fugas e infiltraciones.

Los tubos de concreto reforzado de sección circular se clasificarán en 4 tipos según su consistencia a la compresión:

- * Tipo I de resistencia normal.
- * Tipo II de resistencia extra.
- * Tipo III de resistencia alta.
- * Tipo IV de resistencia muy alta.

En las tablas (anexos 38 al 41), se presentan los requisitos que deben satisfacer estos tubos de acuerdo con lo que se establece en la Norma Oficial Mexicana NOM-C-20. Se acepta la prueba de los 3 Apoyos (Norma NOM-C116) como la adecuada para determinar la resistencia a compresión de los tubos de concreto, para producir un estado límite de servicio con anillo máximo de grieta de 0025 cm. o un estado límite de resistencia de ruptura del tubo (anexo 42).

Para efectuar la prueba de resistencia a la compresión de los tubos, se usará cualquier dispositivo manual o mecánico, de modo que se aplique una carga uniforme a lo largo del tubo sometido a la prueba, la cual será aplicada a razón de 900 Km/min, al centro del bloque de apoyo de la parte superior y la mitad de su longitud. La carga por metro lineal se calculará como la carga total obtenida en la prueba para romper el tubo, dividida entre la longitud del mismo sin incluir la campana, los apoyos inferiores deberán ser dos tiras de madera recta, de sección rectangular, con las aristas inferiores redondeadas con un radio aproximado de 7.0 cm.; las tiras sujetas permanentemente a un bloque de madera con sección de 15 x 15 cm.; en ningún caso las tiras estarán separadas menos de 2.5 cm. una de otra.

El apoyo superior será un bloque rígido de madera sin nudos, con sección de 15 x 15 cm. recto y nivelado.

Cuando se emplee una malla de refuerzo circular, deberá colocarse a una distancia comprendida entre el 35 y el 50 por ciento del espesor de la pared que sea menor, por el lado inferior del tubo, excepto cuando el espesor de la pared sea menor de 6.3 cm. en cuya situación el recubrimiento interior del concreto sobre el refuerzo será mayor o igual a 1.9 cm.

Cuando se unen dos mallas de refuerzo circular, éstas deberán estar colocadas de tal manera que el recubrimiento de concreto sea al menor de 2.5 cm., tanto en el lado interior como en el exterior del tubo. Además las dos mallas de

refuerzo estarán armadas entre sí de forma que el refuerzo total sea un solo conjunto.

Cuando se use refuerzo elíptico en tubo circular con pared de 6.3 cm. o más, el refuerzo deberá estar colocado de tal manera que el recubrimiento de concreto sea, al menos de 2.5 cm. por la parte interior en el eje vertical y de 2.5 cm. por la parte exterior en el eje horizontal.

El acero circunferencial deberá formar una malla con los aceros longitudinales, en cantidad suficiente para extenderse a toda la pared del tubo, con el fin de mantenerlo en posición correcta dentro del molde, para dar la rigidez y resistencia necesaria.

Cada línea de refuerzo circunferencial deberá estar fija en una armazón o jaula, con suficientes barras longitudinales; para mantener en forma rígida a la jaula y en posición correcta durante el vaciado de concreto, cuando se trate de 2 líneas de refuerzo, éstas deberán estar unidas entre sí para evitar movimientos diferenciales.

Cuando las uniones de refuerzo no sean soldadas, se deberá traslapar en una longitud no menor de 20 cm. de diámetro para varilla corrugada, para varillas lisas y alambres estirados en frío, esta longitud no será menor de 40 cm de diámetro si el traslape se hace sudado, su longitud no será menor de 5cm.

Se permitirá el empleo de soldadura a tope para unir barras o varillas. Con este procesos deberá cumplirse que la

pueba de tensión del espécimen representativo debe resistir cuando menos un 74% de la resistencia de acero especificado. El espaciamiento de acero circunferencial no debe exceder de 10cm. para tubos que tengan un espesor hasta de 10cm. Para tubos de diámetro mayor que 1.2cm. no deberá exceder del espesor del tubo o de 15 cm. lo que sea menor. El espesor de la pared del tubo no debe ser menor que la señalada en las tablas I.9 a I.12, en mas de 5% o 4.75 mm, lo que resulte mayor; en cambio, si podrán admitir que los espesores son mayores para desarrollar la resistencia indicada.

d) Tubería de Concreto Simple

Para revisar si los tubos de concreto simple cumplen con la resistencia de diseño requerida deberá verificar que su resistencia a la compresión diametral, sus dimensiones y tolerancias satisfacen con lo indicado en los anexos (43 al 45). Los tubos de concreto simple deberán diseñarse para soportar, en adición a las acciones obtenidas, una presión hidrostática de $.7 \text{ Kg/cm}^2$, en cuya situación no deberán presentar fugas ni filtraciones.

e) *Tuberías de Asbesto Cemento*

Se admitirá que los tubos de asbesto-cemento puedan ser cuatro tipos B-6, B-7.5, B-9 y B-12. Para revisar si un tubo cuenta con la resistencia de diseño requerida, se deberá verificar que su resistencia por metro lineal y las tolerancias geométricas cumplan con lo indicado en los anexos (46 y 47).

Los tubos de asbesto-cemento deberán tener una resistencia capaz de soportar una presión hidrostática de 3.5 Kg/cm², en adición a las acciones de diseño, en cuya situación no deberán presentar fugas ni filtraciones.

Tuberías de plástico. polietileno y policloruro de vinil (PVC). Los tubos de plástico fabricados con materiales reforzados no, tienen una utilización muy extendida en las instalaciones domésticas y redes de distribución. Estas conducciones son mucho más sencillas de instalar y manejar, generalmente, son más baratas que las de materiales tradicionales, la eficiencia a largo plazo de estas tuberías solo podrá establecerse a medida que pase el tiempo. Los problemas que pueden presentarse pueden ser por circulación de aguas de bajas temperaturas, formación de escalas por envejecimiento y tensiones producidas al instalar las conducciones. Algunos fabricantes ofrecen una garantía de 25 años sobre el material y la mano de obra.

La American Water Association ha publicado unas especificaciones sobre las conducciones de cloruro de polivinilo. Los termoplásticos son los que en la actualidad presentan mucho interés para su uso en los sistemas de abastecimiento de agua potable. Los termoplásticos de mayor importancia son: el polietileno [PsZ] y el policloruro de vinil (PVC).

El polietileno es un derivado del gas etileno que es un componente del gas natural. También puede ser un derivado de la refinación del petróleo, se tienen 3 tipos conocidos: de densidad baja, media y alta.

Las tuberías de polietileno, se empezaron a usar en Europa en 1948. En México se inició su fabricación en 1955 año en que la SRH empezó a adquirirlas para su utilización en obras de agua potable, principalmente en localidades rurales y para tomas domiciliarias. Se fabrican teniendo en cuenta la Norma NOM-18-1969.

El P. V. C. (CLORURO DE POLIVINILO) es un material termoplástico compuesto de polímeros de cloruro de vinilo; un sólido incoloro con alta resistencia al agua, alcoholes y ácidos y alcalis concentrados. Se utilizó este material a partir de 1934 para la fabricación de tuberías.

En la República Mexicana se empezó a fabricar tuberías de pvc, en 1956. Los espesores fueron calculados por la fórmula ISO, para un esfuerzo de diseño de 60 Kg/cm^2 , según la

Norma Alemana DIN; posteriormente en 1960 se aprobó el de 100 Kg/cm².

2.5 Piezas Especiales

2.5.1 Bridas

Se denomina plato de la brida al disco con un agujero que constituye la brida, y tubo a la parte reforzada que no es adyacente al plano. Tanto las bridas continuas como las discontinuas son de uso general. El tipo discontinuo se prefiere cuando se vayan a emplear estopados duros y deberán mantenerse fuerzas grandes sobre ellos, para asegurar la hermeticidad; las bridas discontinuas se emplean preferentemente cuando las temperaturas de trabajo en la conducción vayan a ser altas. El diámetro del empaquetado se pueda elegir de manera que se asegure un buen sello en la brida; su colocación debe ser tal que el borde inferior diste más de 1.27 cm. del borde inferior del plato.

2.5.2 Inserciones

Las inserciones son tubos de salida de la conducción principal con diámetro muy pequeño con respecto al de la tubería. Se consideran como inserciones a los tubos de ventilación, los de by pass de llenado previo, los que sirven para que se emplean como pequeñas tomas de agua.

Las inserciones se fabricarán con tubo comercial, acero forjado, acero fundido, placa o lámina de acero estructural. Se podrán unir a la tubería por medio de cuerda, de remaches, de tornillos o con soldadura.

2.5.3 Pozos de Inspección

En los pozos de inspección se tendrá en cuenta que el refuerzo deberá ser capaz de resistir las fuerzas que la tubería era capaz de soportar antes de hacer el agujero. Las soldaduras, en los agujeros, se localizarán de manera que exista una correcta transmisión de esfuerzos. La característica de la soldadura se calculará a tensión o cortante, según como vaya a estar trabajando; se deberá tomar la longitud concreta del cordón a los lados de la sección considerada. Cuando la soldadura trabaje a esfuerzos de tensión y cortante simultáneos, se tomará como valor de diseño su resistencia menor, ya sea en tensión o cortante.

2.5.4 Juntas de Expansión

Para diseñar las juntas de expansión deberá tenerse en cuenta que los movimientos de la tubería, sujeta a cambios de temperatura, serán tomados por dichas juntas para reducir los esfuerzos longitudinales. En las tuberías a gran presión es común emplear la junta de expansión de manga, la cual consiste de una manga interior, que puede ser el tubo mismo, y un manguito exterior ligado a la otra parte del tubo por medio de un anillo o brida de retén, para formar la prensa-empaquetada.

2.5.5 Tapas

Las tapas empleadas en tuberías de acero podrán ser hemisféricas, torisféricas y elipsoidales. Para cuando esten sometidas a presión por el lado concavo, su espesor mínimo requerido se determinará de acuerdo con lo establecido en tuberías sometidas a presión externa. Las tapas hemisféricas deberán tener el espesor mínimo requerido para tuberías cilíndricas.

El tramo de tubería inmediatamente usado a la tapa deberá tener un espesor mayor o igual al requerido para la tapa, en una distancia no menor de , medida desde la tangente a lo largo del tubo. Las transiciones a tuberías de espesor más delgado no se podrán localizar dentro de esa

distancia. Las transiciones a tuberías de espesor más grueso si se pueden localizar en esa zona. En las tapas torisféricas el radio inferior del casquete esférico (corona) no deberá exceder el valor del diámetro interior del tubo de la zona de unión con el tubo (toro,) no será menor de $6\frac{1}{2}$ del diámetro interior del casquete ni menor que tres veces el espesor de la tapa.

2.5.6 Anillos Rigidizantes

Los anillos rigidizantes se emplearán con el fin de evitar espesores excesivos de la tubería, cuando exista la posibilidad que trabaje ante fuerzas de compresión.

Se requieren anillos rigidizantes en las tuberías que trabajen bajo las siguientes condiciones: donde el conducto este sometido a presión exterior; donde las tuberías esten sometidas a fuerzas de flotación durante el proceso de colado.

2.5.7 Intersecciones o Ramales

En la derivación del líquido de la tubería principal, deberán evitarse ramales a 90° para reducir las pérdidas de carga se recomienda iniciar un ramal con un codo 6 a 8 de semiángulo en el vértice.

El ángulo entre el eje longitudinal de la tubería principal y el del ramal podrá tener cualquier valor acotado

entre 45° como mínimo y 75° como máximo. Cuando haya más de dos ramales concurrentes, todos los ejes longitudinales deben estar en el mismo plano.

2.5.8 Codos

Los cambios de dirección en la tubería se harán con codos. Para conducciones forzadas de gran diámetro, los codos podrán ser sencillos o compuestos. Los codos sencillos estarán formados con tramos de tubo que se diseñarán como tales y deberán tener sus extremos en planos que concurren en una recta; para evitar pérdidas bruscas de carga, se recomiendan radios de curvatura de 3 a 5 veces el diámetro de la conducción y ángulos de la flexión de 5° a 10° . Los codos sencillos podrán ser de sección constante o variable. Los codos compuestos o combinados son aquellos que sirven para unir conducciones cuyos ejes se cortan; su diseño en cuanto a radio de curvatura como a deflexiones, seguirá los lineamientos de los codos sencillos.

Para conducciones de acero con diámetro hasta de 106.08 cm., los codos que se empleen deberán estar fabricados exprofesamente para tal fin.

2.5.9 Válvulas

En las conducciones de agua se emplean varios tipos de válvulas. A continuación se indican las descripciones y el campo de utilidad de las mas usuales.

*** *Válvulas de compuerta:* cuando se precisa realizar reparaciones en una red de distribución, es necesario interrumpir la circulación del agua. En consecuencia, deben disponerse numerosas válvulas con el fin de que solo haya que interrumpir el servicio en una pequeña parte de la red a un tiempo.

*** *Válvulas de retención:* permiten que el agua circule en una sola dirección y, generalmente, se emplean para evitar el retroceso del agua al pararse las bombas.

*** *Válvulas de globo y de asiento:* su utilización en redes de distribución no es normal, debido a las grandes pérdidas de carga que producen. Su aplicación principal es de sistemas de distribución en edificios en donde su bajo costo compense sus deficientes características hidráulicas.

*** *Válvulas de macho:* ésta válvula llamada también "cónica" tiene un macho de afinadura que gira en un asiento fusiforme. Cuando la válvula se abre, un agujero del macho coincide con

las aberturas del cuerpo, y estas a su vez son prolongaciones de la tubería en la que se coloca la válvula. La lubricación se realiza con aceite a presión, a través de un engrasador, hacia unas estalladuras en el nacito y una pequeña recámara debajo del mismo.

2.6 Atraveses

Toda conducción con cambio de dirección en la rasante o cambio de sección deberá estar anclada de tal forma que las fuerzas que se presentan en la conducción, debidas a todas las acciones resultantes en la condición de diseño, sean absorbidas por el atravesado sin que se transmitan al tramo siguiente de la tubería.

Los anclajes se deberán diseñar como estructuras de gravedad, capaces de soportar todas las fuerzas, tanto verticales como horizontales, que se presenten y que combinadas con el peso propio deben tener una resultante que actúe en el tercio medio de la base del mismo.

Para lograr que todo el macizo que constituye al atravesado, contribuya a contrarrestar las fuerzas producidas por la tubería, será necesario anular convenientemente, por medio de pernos y bridas, las partes superiores e inferiores del bloque. Para conseguir mayor resistencia del atravesado, con

disminución en parte de peso, deberán prolongarse los pernos dentro del terreno cuando las condiciones de éste así lo permita.

2.7 Zanjas

La zanja va a estar determinada de acuerdo al diámetro de tubería que se utilice, al material de la tubería, y al tipo de terreno por donde cruce la tubería. Las dimensiones para zanjas se presentan en el anexo (45').

111 TUBERIA DE PRESION DE CONCRETO PRESFORZADO

3.1 Descripción.

Son tuberías fabricadas a base de concreto reforzado de alta resistencia, (superior a un $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$), el refuerzo consiste generalmente de alambre pretensado para producir el preesfuerzo requerido en estos tubos. Actualmente existen tres empresas que fabrican comercialmente este tipo de tubería que son: Tubos y Elementos Presforzados, S.A.

(T.E.P.S.A.), Ingeniería y Construcciones Hidráulicas, S.A.
(I.C.H.S.A.), (C.O.M.E.C.O.P) Compañía Mexicana de Concreto Presforzado, S.A. de C.V.

Estas empresas emplean para la fabricación de sus tuberías procedimientos particulares regidos por sus normas particulares. En las siguientes líneas se describe brevemente el procedimiento constructivo y especificaciones correspondientes.

TUBOS COMECOP.

La técnica de fabricación fue desarrollada por las sociedades SOBEA Y BONNA, y comprende tres operaciones principales :

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

A) Producción de un tubo primario provisto de alambres de pretensado longitudinal. Este tubo puede ser producido por centrifugación en moldes horizontales hasta de 2100 mm. de diámetro o por colado vertical para tubos con diámetros de 2100 mm. y mayores. El cemento normalmente utilizado es del tipo Portland, ordinario o de alta resistencia inicial con una dosificación de 425 Kg. de cemento por metro cúbico, compuesto con el mínimo de arena necesaria para manejabilidad requerida, y grava de piedras duras de dimensión comprendida entre 8-16 y 10-20 mm. La resistencia mínima a la compresión obtenida es de 400 Kg/cm^2 a los 7 días y de 500 Kg/cm^2 a los 28 días. El refuerzo consiste en alambres de acero de diámetros de 5 a 7 mm. tensados al 80% de su resistencia a la ruptura. Después de la centrifugación o del colado vertical, según sea el caso, el fraguado se acelera por un tratamiento de vapor.

B) Zunchado del tubo primario por enrollamiento bajo tensión controlada de un alambre de acero que produce el pretensado transversal a que va a ser sometido. Esta fatiga inmediatamente después del zunchado se limita normalmente de 250 Kg./cm^2 - 300 Kg./cm^2 . En el curso de la operación de zunchado, el tubo animado de un movimiento helicoidal recibe un enrollado continuo de alambre pretensado sometido a una tensión próxima a 80% de la resistencia a la ruptura, (anexo 48).

C) Protección del zunchado por una capa de concreto de revestimiento. Después del zunchado y de la prueba hidráulica, necesaria para verificar la resistencia mecánica del acero y el concreto así como su estanqueidad, el tubo es revestido en rotación lenta con una capa de concreto con un mínimo de agua vibrado a alta frecuencia y con un espesor de por lo menos 20 mm. por encima de las espiras del zunchado.

Actualmente la serie de diámetros es de 900 a 2500 mm. y la longitud útil de los tubos es de 7 m. para los tubos centrifugados y de 5 m. para tubos colados verticalmente, en el anexo (49) se presentan las principales características de los tubos COMECOP.

TUBOS I.C.H.S.A.

La empresa ICHSA es portadora de la patente para fabricación de tubería de concreto presforzado LOCK JOINT, la cual comprende cuatro tipos de tubería, la especificación SP-1, SP-3, SP-12 Y SP-16. En este caso trataremos la especificación SP-12 que es la más utilizada para la construcción de líneas de conducción de agua potable. Según esta especificación las tuberías serán del tipo de concreto preesforzado, con cilindro para presión. El refuerzo consistirá en un cilindro de acero sellado mediante

soldadura continua y ahogado en el concreto, este cilindro esta provisto en los extremos de anillos de junta espiga-campana flexibles y soldadas al cilindro y firmemente anclados a la estructura (anexo 50) y deberá ser completamente hermético bajo las condiciones de prueba hidrostática. La presión de prueba sera tal que no rebase el 0.9 del limite elástico del cilindro.

Las características del acero deberá estar de acuerdo con las especificaciones ASTM A-570 grado B o C, o ASTM A-569. El cilindro de acero recubierto en su parte interior por una capa de concreto no menor de 2.54 cm. (1") de espesor, y el espesor total del núcleo sera de 5.7 a 15.8 cm. El núcleo de concreto esta constituido por cemento, arena y piedra triturada o grava y en cantidades no menores a 335 Kg./m³. El concreto es colado en moldes verticales de acero, construidos de tal forma que el molde interior, el exterior, los anillos y el cilindro sean concéntricos. El concreto alcanza una resistencia promedio de 317 Kg./cm² (4,500 PSI) a los 28 dias.

Una vez que el concreto del núcleo haya alcanzado la resistencia adecuada, es comprimido con alambre de alta resistencia y posteriormente protegido con un recubrimiento a base de mortero. La compresión inicial en el concreto producida por el alambre no deberá exceder del 55% de la resistencia a la compresión del concreto al tiempo de ser enrollado.

El diámetro del alambre, su espaciamento y la compresión que ejerza sobre el núcleo deberá ser suficiente para producir el preesfuerzo requerido, siendo del diámetro mínimo de 0.41 cm. (0.162", calibre No.8), el espaciamento máximo de 3.7 cm. (1 1/2"), y el mínimo de 0.5 cm. (3/16"), la fatiga inicial del alambre de alta resistencia no será superior al 75% de la mínima resistencia a la ruptura.

El recubrimiento se aplica una vez preesforzado el núcleo con el alambre y es lanzado contra la superficie exterior del núcleo para producir un recubrimiento denso sobre el alambre tensado, el espesor será aproximadamente de 2.1 cm., las juntas sellan mediante un empaque de hule que se coloca en la ranura del anillo espiga.

TUBOS T.E.P.S.A.

Los tubos T.E.P.S.A. son construidos según el sistema de "ROLADO EN SUSPENSION", patentado por "ROCLA" e introducido en México por T.E.P.S.A.

El concreto es vaciado en un molde de acero que tiene en sus extremos piezas maquinadas para formar la espiga y la campana a dicho molde se le coloca previamente el refuerzo longitudinal consistente en alambres de alta resistencia que se tensan con dispositivos especiales, quedando anclados a las cabeceras del molde. Una vez hecho lo anterior el concreto es sometido a la acción centrífuga, a la vibración y a la acción de compactado a alta presión para producir un

concreto de gran densidad. El curado se realiza por medio de vapor con temperatura y humedad específicos, una vez obtenida una resistencia mínima de 280 Kg./cm^2 en el concreto, se aflojan los tornillos pretensadores del acero y se desmolda, ya sin el molde el concreto sufre otro proceso de curación hasta alcanzar una $f'c=325 \text{ Kg./cm}^2$ como mínimo, que es cuando se puede colocar el refuerzo circunferencial sin dañar la superficie del corazón. Lograda la anterior resistencia mínima, el corazón pasa entonces a una máquina que le ancla y le aplica el tensado circunferencial a tensión y paso controlados. Inmediatamente después el corazón ya tensado circunferencialmente, pasa a otra máquina que lo recubre uniformemente, primero con pasta de cemento y agregado fino, que son aplicados al alto impacto hasta formar una capa de 20 mm. sobre el alambre de refuerzo circunferencial, y finalmente se aplica otra capa de pasta de cemento. El tubo así terminado se somete a otro curado de vapor, con lo cual el concreto obtiene una mínima $f'c=500 \text{ Kg./cm}^2$ a los 28 días que lo hace apto para someterlo a la prueba de presión hidrostática de una y media veces su presión nominal máxima de trabajo, durante un mínimo de 3 min. En el anexo 51 se presentan las principales características de los tubos TEPESA.

3.2 Recomendaciones para Diseño de los elementos que constituyen una línea de conducción en concreto presforzado

a) Tuberías

Como se ha mencionado anteriormente, para el diseño de líneas de conducción en concreto presforzado existen en el mercado tres tipos o marcas de tubos, C.O.M.E.C.O.P. ; I.C.H.S.A. y T.E.P.S.A., las características más importantes de estas piezas se presentan en los anexos (49, 50 y 51). Como se puede apreciar, se debe tener cuidado al elegir el tipo de tubería para el diseño de la línea, ya que las características de los tubos varían según el fabricante, siendo la longitud aprovechable para el tubo I.C.H.S.A. de 4.88 o 7.32 m., para C.O.M.E.C.O.P. de 5 o 7 m., y para T.E.P.S.A. de 5 m.

Es conveniente emplear un solo tipo de tubo para el diseño de la Línea, sin embargo es posible combinar los tres tipos, siempre y cuando se utilicen los adaptadores necesarios. Generalmente el trazo de la línea de conducción sigue la pendiente del terreno natural para reducir lo mas posible los volúmenes de excavación, sin embargo se corre el riesgo de deslizarse si la pendiente alcanza el 20% para líneas en túnel, y 25% para líneas en tierra. Si la pendiente es superior a estos valores habrá necesidad de anclar los

tubos y deberán colocarse sobre una cama de piedra triturada.

La frecuencia del anclaje dependerá de la pendiente y tipo de terreno, siendo mas frecuente entre mas suave sea el terreno, C.O.M.E.C.O.P. recomienda, a titulo indicativo la siguiente tabla.

Para determinar la frecuencia del Anclaje:

PENDIENTE TERRENO (%)	A	B
15-19	1/4	1/3
20-24	1/3	1/2
25-29	1/2	1/1
30	1/1	1/1

La indicación 1/3 arriba significa 1 tubo anclado cada 3 tubos

A = Designa un terreno rocoso o muy firme sin brotes de agua.

B = Designa un terreno suave o coherente (arcilla, magra) o granular y acuifera.

El esfuerzo de deslizamiento se calcula por la siguiente formula:

$$F = R (\text{Sen} \theta + 0.30 \text{Cos} \theta)$$

Un anclaje comprende dos elementos en concreto:

A) El macizo de anclaje propiamente dicho, en la parte alta del tubo.

B) El calce o zapata de apoyo en la parte baja.

Los dos elementos estaran colocados en los extremos del tubo, (ver anexo 52), ademas del anclaje, disposiciones particulares deben permitir el análisis de las aguas superficiales y las aguas subterráneas para prevenir escurrimientos del terreno y asegurar la estabilidad de la conducción (ver anexo 53).

En ocasiones existe la necesidad de cruzar ríos con la línea de conducción por lo cual los tubos deben ser protegidos contra zocavones ahogándolos en concreto cuando el terreno es rocoso o muy firme y estable, o por medio de ataguía en terrenos suceptibles de pequeños movimientos. Las vías férreas y carreteras importantes, se cruzan en subterráneos colocándose el tubo dentro de una verdadera obra de arte, galería o alcantarilla prevista para canalizar el agua de una fuga, o de una eventual rotura, (anexos 54 y 55).

b) *Lineas Aereas*

Los tubos aereos en lineas sensiblemente horizontales se apoyan en los puntos sobre soportes de concreto (anexo 56) . Uno de los soportes (cunas) asegura el anclaje por contacto directo del concreto contra el revestimiento del tubo.

La otra cuna constituye un apoyo deslizante por interposición de un cuerpo liso y no adherente entre el concreto y el revestimiento del tubo (cartón asfaltado, hoja de plástico...). Cuando el tendido tiene pendiente conviene anclar cada tubo sobre uno de las cunas (anexo 57).

c) *Tubos Sumergidos*

Los tubos que atraviesen rios o cauces deben ser protegidos contra socavaciones, se recomienda (COMECOP) ahogar los tubos en concreto cuando el terreno es rocoso o muy firme y estable o por ataguías en terrenos susceptibles de ligeros movimientos, (anexos 54 y 55). En caso de ahogamiento en concreto, conviene calafatear (el juego exterior entre tubos) para que cada junta mantenga su articulación. La confección del concreto de envolvente por el procedimiento COLCRETE (inyección de mortero emulsionado en un esqueleto de piedra triturada), es un buen sistema ya que permite trabajar bajo agua.

3.3 Piezas especiales

Como se han visto las piezas especiales son los elementos que dentro de una línea de conducción, nos permiten darle continuidad, así como tener las preparaciones para la colocación de los dispositivos de seguridad y operación, que se requiere para un buen funcionamiento .

Las piezas especiales más comunes empleadas en líneas de conducción de concreto presforzado son:

- * Codos
- * Tubos Cortos
- * Registros de Inspección
- * Tees (oblicuas, radiales o tangenciales)
- * Cruces
- * Adaptadores
- * Reducciones
- * Cierres

En general tales piezas están constituidas con alma de acero, con un espesor calculado de acuerdo con las presiones de trabajo a que va a estar sometida y protegida con un recubrimiento de concreto armado, tanto interior como exterior que permite tener las mismas características de diseño que las solicitadas para la tubería.

Los extremos de las piezas especiales pueden ser fabricados segun convenga para su utilización en la conducción en que van a ser usados y pueden ser:

- * Juntas Bridadas
- * Juntas Gibault o Johnson
- * Juntas Extremos Campana
- * Juntas Extremos Espiga
- * Juntas Extremos Lisos (unidos por soldadura para cubrejuntas)
- * Juntas Tipo Dresser

3.3.1 Codos

Son piezas utilizadas par formar deflexiones requeridas por el proyecto, los codos pueden usarse para deflexiones tanto verticales como horizontales, tambien un codo puede formar a la vez una deflexión horizontal y vertical (siempre y cuando el ángulo de deflexión en uno de los ejes no sea demasiado grande). Se recomienda en la mayoría de los casos tratar de utilizar los puntos abiertos (junta abierta) para las deflexiones pequeñas, (ver anexo 58), como es el caso de las deflexiones verticales, se recomienda que dichas juntas abiertas no sean mayores de 40' min. y no mas de tres continuas en un tramo.

Las deflexiones Standard de los codos varían según la compañía que las produce, las más utilizadas son:

COMECOP: 2°15', 4°30', 7°30', 15°, 22°30', 37°30', 45°, 52°30', 60°.

ICHSA : (LOCK JOINT) 2°14', 2°16', 4°28', 4°30', 4°34', 7°30', 15°
22°30', 30°, 37°30', 45°, 52°30', 60°, 67°30'
75°, 82°30', 90° .

TEPSA: 2°15', 4°30', 7°30', 15°, 22°30', 30°, 45°, 60°, 90°.

Cabe mencionar que de ser necesario, los codos pueden ser fabricados para cualquier deflexión.

Las especificaciones correspondientes a los diferentes tipos de codos, biseles y 1/2 biseles, se presentan al final de este capítulo.

3.3.2 Tubos Cortos

Es un tubo normal, pero de longitud variable y menor a la Standard del tubo, se utilizan para acercarse o llegar a puntos obligados de deflexión o de situación de otra pieza, también se utilizan en cierres cuando la longitud dejada entre tubos es excesiva, su costo es relativamente mayor al precio de tubería Standard.

Se fabrican de cualquier longitud, aunque ICHSA los fabrica en múltiplos de 0.50 desde 2.50 m. hasta 4.50 m. Debido a su costo y a su disponibilidad no inmediata se

recomienda utilizarlos lo menos posible y en longitudes no menores de 1 m.

3.3.3 Registro de Inspección

Es un tubo corto con salida radial, pero siempre la salida es de 20" 0 o 24" 0 y sirve para dar acceso a un hombre al interior de la tubería, para efectuar una revisión en caso de que se requiera. La distancia que deberá haber entre cada registro, dependerá del diámetro de la tubería que se este empleando, teniendo en cuenta lo impractico que resulta viajar a través de tubos de diámetro " pequeño ", por lo que en este caso los registros no deberán estar muy alejados entre si; por el contrario para tubería cuyo diámetro permite a una persona desplazarse con facilidad en el interior de la misma los registros podran estar separados a una distancia considerablemente mayor.

3.3.4 Tees

Son basicamente tubos cortos con salidas radiales o tangenciales, se utilizan para derivaciones, desagües y válvulas de aire.

La derivación es un tubo corto con salida radial, cuya colocación es sobre el eje horizontal, siempre para alimentar o conectar otra red de agua potable. El desagüe, tiene la salida tangencial y sirve para desalijar el agua de una

tubería, y deberá ser instalado en el lugar mas bajo de la línea. Para la válvula de admisión y expulsión de aire, se debe de instalar en el punto mas alto de la línea, y con pendiente igual a cero.

En las derivaciones y los desagües, (ver anexo 58') debido a que son instalados en el plano horizontal, pueden ser izquierdos y derechos (tomando como referencia el sentido de la instalación de la tubería) y en sus extremos pueden llevar brida, espiga, campana o liso. Las características principales de estas piezas según los distintos fabricantes se presenta al final de este capítulo.

3.3.5 Adaptadores

Los adaptadores son piezas especiales que sirven para hacer conexiones dentro de una línea de tubería. Se utilizan para colocación de otro tipo de piezas con válvulas, tuberías de acero, juntas Dresser, así como para interconexionar las diferentes marcas de tubería etc . Las características de los adaptadores se presentan al final del presente capítulo.

3.3.6 Juntas

Las juntas son los elementos que garantizan la unión hermética de dos piezas, ya sean tubos o piezas

especiales. Las juntas en una línea de conducción pueden ser clasificadas en tres categorías:

1) Junta normal (espiga campana), constituida por un anillo teórico de hule flexible, capaz de deflexiones angulares y lineales dentro de límites específicos.

2) Junta mecánica (tipo dresser), constituida por un anillo de hule oprimido por medio de tornillos sobre los extremos de un barrilete metálico. Este tipo de junta si no está bloqueada, permite desplazamientos axiales relativamente importantes.

3) Junta de brida, constituida por el desplazamiento de una rondana de hule entre dos bridas metálicas atornilladas. Esta junta es rígida.

El tipo de junta más común es la junta normal (espiga campana) ya que es la utilizada para acoplar los tubos de concreto. Debido a sus características de pequeños cambios de dirección con la propia tubería sin tener que recurrir a codos o biceles, dichas deflexiones se logran dejando cierta abertura en la junta quedando el tubo con cierta inclinación respecto al anterior, sin embargo se deben respetar las separaciones máximas y mínimas permisibles de las juntas, ya que de lo contrario se puede provocar un mal acoplamiento entre tubos y una mala hermeticidad en la unión.

las separaciones máximas y mínimas recomendadas por los fabricantes aparecen en el anexo 58

3.3.7 Reducciones

Las reducciones cónicas son las que generalmente se utilizan y sirven para cambiar el diámetro de la tubería, ya sea disminuyendo o aumentándolo. Sus características se presentan al final del presente capítulo.

3.3.8 Cierres

Son un conjunto de piezas utilizadas para unir dos extremos de línea, en los que no hubo continuidad. El cierre es la pieza especial que mas condiciones presenta en la obra para su colocación por lo que es la pieza que menos justificación tiene para su utilización, ya que normalmente exige que los tubos, anterior y posterior sean colineales, es decir que los ejes horizontal y vertical coincidan.

Es importante señalar que las piezas especiales cuentan con el recurso de otros dos tipos de terminales (además de la espiga y campana), que es la brida y el extremo liso. La terminal brida se debe utilizar exclusivamente para la unión a válvulas o tapas ciegas. La terminal extremo liso se utiliza para la unión a juntas mecánicas (junta Dresser) y a cierres.

3.4 Válvulas

La válvula es un mecanismo que sirve para regular, seccionar o aliviar el paso de líquidos o gases por tuberías, o cualquier conducto cerrado.

Según el uso para el que están destinadas, las válvulas pueden ser:

* De seccionamiento y/o de alivio, a fin de que funcionen cerradas o abiertas.

* De regulación, únicamente para que actúen parcialmente cerradas.

* Mixtas, es decir, que indistintamente pueden usarse cerradas, abiertas o semiabiertas.

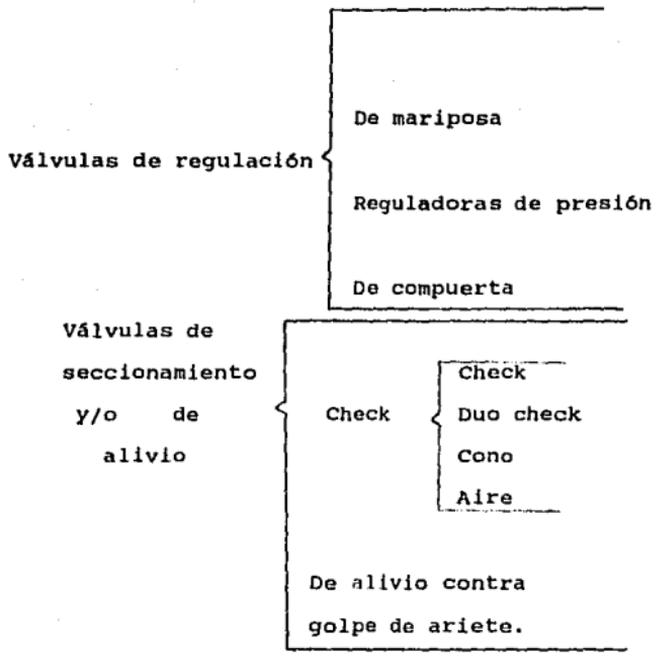
3.4.1 Tipos más Usuales de Válvulas

Los tipos más comunes de válvulas utilizados en los sistemas hidráulicos de abastecimiento de agua potable son

Válvulas mixtas

De globo

De flotador



Válvulas de Compuerta. Su característica es que la pieza de cierre es una compuerta circular que se levanta o baja para abrir o cerrar deslizándose en unas guías ó canales (anexo 58-C). Por su sencillez de operación y las condiciones de mantenimiento, son las que se utilizan en el servicio de agua potable con mayor frecuencia, ya sea para seccionar tuberías, aislar un sector en una red por razones de mantenimiento, emergencia, desfogues o efectuar nuevas conexiones..

Válvulas de Cono. Son más resistentes que las planas y posibilitan un cierre gradual, lo que evita la resonancia.

Aunque son de gran eficacia, su compleja construcción hace que sean relativamente caras, y requieran considerable atención para operarlas.

Válvulas de Alivio contra Golpe de Ariete. También son llamadas de desahogo, se utilizan en sistemas de bombeo para contrarestar los "golpes de ariete", que pueden ocasionar la destrucción de la tubería. Estas válvulas funcionan mediante la acción que el exceso de presión producida por el golpe de ariete, ejerce sobre un émbolo o diafragma, el cual las activa para abrir (anexo 58-D). De este modo, el flujo del agua se desvía a otras tuberías o tanques de almacenamiento disipando la presión excesiva.

Válvulas de Globo. Son muy comunes en instalaciones domiciliarias y, en general, donde hay cargas desbalanceadas su forma exterior se asemeja a un globo (de ahí su nombre) interiormente, la pieza de cierre es un pequeño disco horizontal. Son válvulas de uso mixto, es decir, pueden funcionar abiertas, cerradas o semiabiertas, normalmente su tamaño no rebasa las seis pulgadas (ver anexo 58-E).

Válvulas de Flotador. Como su nombre lo indica, son accionadas por un flotador (ver anexo 58-F); este sube con el nivel del agua y suspende el paso del flujo cuando alcanza un punto preestablecido. Se utilizan para controlar la entrada o salida de agua y, con aditamentos especiales, para regular la presión en las tuberías.

Válvulas de Mariposa. Son las más usuales para regular el gasto, o cierre de emergencia en obras de toma para presas de almacenamiento. Actualmente su empleo es cada vez más común debido a su versatilidad, poco peso en relación con otras del mismo diámetro de cierre; además sus dimensiones son más reducidas facilitando su instalación (ver anexo 58-G). Debido a esto y a su mantenimiento, su demanda es mucho más alta que las de compuerta. A diferencia de éstas últimas, no necesitan by pass, pues las presiones de las tuberías donde se instalan se equilibran en el disco. Como dichas presiones tienden a abrir o cerrar las válvulas, su accionamiento se facilita.

Las desventajas de este tipo de válvulas radica en que se producen pérdidas por fricción más elevadas que las producidas por las válvulas de compuerta, ya que su disco ofrece resistencia al agua en su posición de apertura total o parcial, otra desventaja es que las válvulas de mariposa se desgastan, por lo que hay pérdidas de hermeticidad, de ahí la necesidad de reemplazar oportunamente el anillo gastado.

Válvulas de Compuerta. Se conocen también como válvulas check o de no retroceso, su función es evitar que el flujo de agua invierta su sentido, es decir, que el paso sea solamente en una dirección (ver anexo 58-II). Son bastante comunes en las plantas de bombeo y en tuberías en general, también se usan para conservar el líquido en una tubería y evitar pérdidas de tiempo en el llenado de ésta. Normalmente las pérdidas de carga por fricción son mayores en éstas válvulas que en las de otros tipos.

Válvulas Duo Check. Son una versión mejorada de la válvula de retención convencional; es decir, que el disco simple se transforma en dos discos, con lo cual la masa se reduce, lo que también sucede con la distancia entre la posición de "abierto" y la de "cerrado". Lo anterior permite un mejor aprovechamiento de los resortes de torsión que fuerzan a los discos a cerrar con una mínima pérdida de energía por fricción, con lo que se reducen las posibilidades del cierre repentino en comparación con las válvulas check normales.

VALVULAS DE AIRE

Las válvulas eliminadoras de aire y las de admisión y expulsión de aire, son componentes esenciales para el buen funcionamiento de las líneas de conducción, ya que sin éstas válvulas la capacidad de la tubería calculada conforme a las necesidades sería reducida en un 10% ó más, debido a las bolsas de aire formadas en la parte superior de la tubería, por el efecto de cavitación. Existen básicamente 3 tipos de válvulas de aire: válvulas eliminadoras de aire, válvulas de admisión y expulsión de aire y válvulas combinadas.

* **Válvulas Eliminadoras de Aire.** Son dispositivos hidromecánicos, que sirven para expulsar pequeñas cantidades de aire automáticamente a medida que este se acumula en los

puntos altos de la tubería y ésta se encuentra con agua bajo presión . Los problemas de la acumulación de aire son difíciles de detectar y si no son controlados pueden provocar purgas constantes en la tubería, disminuyendo la eficacia de la tubería y aumentando los costos de operación. En casos severos, el problema del aire es más fácilmente detectable y la instalación de una válvula eliminatoria en los puntos altos es la medida correctiva para remover las bolsas de aire restrictivas y así restaurar la eficiencia de la tubería.

Otras consecuencias graves, son movimientos súbitos de esas bolsas de aire, provocando variaciones de velocidad del flujo en el momento del bombeo, resultando de ello posibles oleajes de alta presión y otros fenómenos destructivos en la tubería. Por lo tanto es conveniente prevenir dichas acumulaciones de aire instalando válvulas eliminadoras de aire en todos los puntos altos de la tubería, en tramos largos ascendentes y descendentes y en tramos horizontales que no excedan de 600 mts. como máximo.

Las válvulas eliminadoras de aire, están diseñadas para eliminar el aire conforme éste se acumule en los puntos altos durante la operación de la tubería bajo presión, no son apropiadas para proteger problemas de vacío, ni para expulsar grandes volúmenes de aire cuando se llenen tuberías de diámetros grandes, ya que éstas tienen orificios pequeños generalmente menores a 13 mm. (1/2") de diámetro, las válvulas de admisión y expulsión de aire tienen orificios más grandes y son recomendables para estos casos.

* **Válvulas de Admisión y Expulsión de Aire.** Es una válvula operada por un flotador con orificio grande de descarga de diámetro igual al de la entrada. Esta válvula permite expulsar o admitir grandes volúmenes de aire conforme el sistema es llenado o vaciado. Cuando una línea de conducción es llenada, la presencia del aire debe ser seriamente considerada y debe ser expulsado de manera suave y uniforme para evitar sobrepresiones por oleaje y otros fenómenos que pueden causar problemas en la línea, igualmente la reentrada de aire en la tubería debe permitirse para evitar presiones negativas y la formación de vacíos potencialmente destructivos en la línea, aún en los casos donde la protección por vacíos no sea una importancia primaria. El aire que reentre sigue siendo esencial para el eficiente drenado de la línea y prevenir la separación de columna de agua que es tan peligrosa como las ondas de presión.

Para que la válvula de admisión y expulsión de aire trabaje a su máxima eficacia debe ser instalada en cada punto alto o gradiente. Fué diseñada para expulsar aire durante el llenado de la tubería y para admitir aire durante el vaciado de la misma o cuando la presión interna se aproxima a un valor negativo. El tamaño de la válvula controla la cantidad de aire que es expulsada y el grado de vacío por evitar, por lo tanto es muy importante la correcta selección del tamaño de la válvula, dicha selección dependerá del diámetro de la

tubería, la presión del flujo, el gasto transportado, grado de pendiente de la tubería y potencial de aire mezclado con el agua.

***Válvulas combinadas de Admisión y Expulsión y Eliminadoras de Presión.** Esta válvula es la combinación de los dos tipos descritos anteriormente, así mientras la válvula de Admisión y Expulsión de aire permitirá expulsar grandes cantidades de aire al llenarse la tubería y admitir suficientes cantidades de aire al vaciarse evitando el posible colapso, la válvula eliminadora de aire, estará eliminando constantemente las pequeñas cantidades de aire automáticamente, conforme se estén acumulando en la válvula, en los puntos altos de la línea cuando esta se encuentre trabajando a presión. Este tipo de válvula deberá colocarse verticalmente en todos los puntos altos de la línea y montarse sobre una válvula de seccionamiento del mismo diámetro para probar su funcionamiento ó darle mantenimiento.

*** Válvula Check de Amortiguamiento.** En algunos casos, las condiciones de operación pueden causar rápidos cierres y aperturas de las válvulas de aire produciendo golpes de ariete. La unidad de check de amortiguamiento permite reducir la velocidad de entrada del aire y el agua a la válvula de aire, protegiéndola contra golpeteos que la dañarían. La válvula de aire deberá ser protegida con ésta unidad en los

siguientes casos: en los puntos altos donde la velocidad del agua exceda de 3 m/s, en los puntos altos de la línea donde el gradiente hidráulico y las condiciones de flujo presenten la posible formación de presiones negativas. en la descarga de bombas de pozo profundo de tipo turbina de gastos mayores de 65.1 l.p.s. y adyacentes a válvulas de cierre rápido como las válvulas check o de compuerta que puedan formar vacíos al cerrarse.

Selección del diámetro de la Válvula de Aire

La selección del diámetro de las válvulas de admisión y expulsión de aire debe ser elegido para admitir y expulsar el máximo potencial de flujo de aire en una tubería sin exceder de una presión diferencial tolerable a través de su orificio de salida. Cada punto alto o cambio de pendiente deberá ser examinado independientemente para determinar el diámetro de la válvula, dicho diámetro puede ser determinado mediante las gráficas de flujo (anexo 59-A) y de las indicaciones siguientes:

A) Para determinar el diámetro mínimo permisible de la válvula capaz de expulsar aire en pies cúbicos por segundo (PCS), sin exceder una presión diferencial de 0.14 kg/cm² se aplica la fórmula siguiente:

$$\text{flujo en PCS} = \frac{11.0 \cdot D^3}{20.32}$$

con los PCS resultantes y la presión diferencial admisible, se entra a la gráfica de flujo del anexo (59-A) y se intercepta la curva que nos indica el diámetro recomendable de la válvula.

B) Para determinar el diámetro mínimo permisible para la admisión de aire en pies cúbicos por segundo (PCS), sin exceder una presión diferencial de 0.35 kg/cm^2 se aplica la fórmula siguiente:

$$\text{Flujo en PCS} = 0.086592 \sqrt{P \cdot D_v^5}$$

Con los PCS resultantes y la presión diferencial admisible se entra a la gráfica de flujo del anexo (59-A) se intercepta la curva que nos indica el diámetro recomendable de la válvula.

C) Después de obtener los diámetros requeridos para la expulsión y admisión de aire se selecciona el diámetro mayor y ese será el que determine el tamaño de la válvula.

En el anexo (59-B) se muestran las características de las válvulas de expulsión de aire, de admisión y expulsión de aire y de las válvulas combinadas, así como una gráfica de flujo para la selección del diámetro adecuado.

3.5 Atraques

Los atraques son elementos de correcto que permiten contrarrestar los empujes .Originales por los presiones normales de trabajo.Se colocan en los puntos en que se originan empujes: Puntas muertas(tapas ciegas, válvulas terminales y tees); cambios de dirección horizontales(codos) y verticales.

Las dimensiones de los atraques se deducen de las características de resistencia de los terrenos en que se apoyan.La forma piramidal es la mas común en estas estructuras ya que la parte mas ancha es la que se apoya en el terreno. Para el diseño de los atraques hay que considerar principalmente: la presión de trabajo de la línea, el diámetro de la tubería, resistencia del terreno.

Determinación de los Empujes

En los codos el empuje se dirige en sentido de la bisectriz y tiende a expulsar el codo hacia afuera su valor se puede deducir en la siguiente expresión.

$$F = 2PA \varnothing/2 \quad (\text{ver anexo 59})$$

En una reducción cónica, el empuje tiende a desplazar el cono en dirección del tubo de menor diámetro, y se determina como:

$$F = \frac{F'}{2 \operatorname{Sen} \frac{\phi}{2}} \quad \text{donde} \quad F' = P (A_1 - a_1)$$

En el caso de una T, el empuje se produce en el sentido del eje del ramal menor (ver anexo 60) y se determina como:

$$F = P \cdot A$$

siendo A, la sección interna del ramal en cm^2 .

Las áreas de los atraques se calculan de acuerdo con la resistencia del terreno en que se apoya:

$$A = F/t$$

Como valor representativo, se dan las resistencias de algunos terrenos:

A) Arenosos

- *arenas de mediana o alta compacidad, cementadas.....3 a 4 kg/cm^2
- *arenas de mediana a alta compacidad, no cementadas.....1.5 a 3 kg/cm^2
- *arenas de baja compacidad.....0.4 a 0.8 kg/cm^2

B) Limosos

- *limos de mediana a alta compacidad.....0.8 a 1.2 kg/cm^2
- *limos de baja

compacidad.....0.3 a 0.5 kg/cm²

C) Arcilloso

*arcillas compactas... 0.5 a 1 kg/cm²

En el anexo (61), se muestran la forma más común de colocar los atraques en codos, tees, válvulas, reducciones etc.

3.6 Zanjas

El dimensionamiento de una zanja apropiada es muy importante, ya que de ella dependerán las cargas exteriores permanentes a las que quedará sujeta la tubería. La zanja deberá tener la anchura apropiada, en la parte superior del tubo, el ancho excesivo de la excavación aumenta la carga del relleno sobre el tubo, y un ancho pequeño evitara realizar un buen compactado a los costados del tubo.

Normalmente un ancho de zanja igual al diámetro exterior más 60 cm. por lado sera suficiente, para satisfacer ambos requerimientos (anexo 62). La profundidad de la zanja queda impuesta por el perfil de la línea el cual se debe analizar con cuidado para asegurar el espacio requerido para el ancho de plantilla y el colchon mínimo especificado sobre el tubo. El colchón mínimo de relleno dependera de las condiciones de sobrecarga encima de la tubería, cultivos,

utilizarse un espesor igual al diámetro de la tubería que se este empleando.

En el fondo de la zanja se debe colocar la plantilla o cama de apoyo de la tubería, dicha tubería deberá proporcionar una superficie plana alineada con la cota del proyecto y discontinuada para dar lugar a un nicho donde alojar las campanas y permitir que los tubos descansen perfectamente en la plantilla (anexo 63). El material generalmente utilizado en la plantilla es del tipo granular, es decir gravas, que deberán ser bien graduadas, de tamaño adecuado al diámetro del tubo y correctamente compactado

El exceso de material grueso puede provocar un encasillamiento del material y por consiguiente variaciones en el nivel de la línea y en el grado de compactación.

TEPSA recomienda para tubos hasta de 900 mm. de diámetro en la 3/16", y en tubos de mayor diámetro, el tamaño máximo de la grava podrá ser hasta de 1/40 del diámetro nominal del tubo.

El empleo del material producto de la excavación, solo podra utilizarse si se presentan las condiciones de granulometria mencionadas anteriormente.

En definitiva el espesor y tipo de material de la cama dependeran del tipo de terreno en que se efectuan y entre la infinidad de casos posibles, mencionaremos los casos mas comunes.

A) Terreno homogéneo de buena capacidad de carga en tierra granular no coherente pero firme. En este tipo de terreno no es necesario colocar la plantilla, simplemente se compacta el fondo de la zanja y se afina para que sirva de cama de apoyo.

B) Terreno homogéneo bastante bueno para carga. El espesor de la plantilla sera de proximadamente 10 cm. y estará constituida con el material suelto o granular cuidadosamente compactado y emparejado este material puede proceder de la excavación o de fuente externa.

C) Terreno rocoso. La altura de plantilla sera de entre 15 y 20 cm. y estara constituida de piedra triturada o grava de acuerdo a la descrita anteriormente.

D) Terreno poco resistente con capacidad de carga mediocre. En este caso el espesor de la plantilla deberá tener como minimo 10 cm. de material duro con gravilla y piedra

triturada de acuerdo a las dimensiones maximas estipuladas (anexo 64).

E) Terreno blando coherente con debil capacidad de carga. El espesor de la plantilla podra ser de 30 a 50 cm. y estara constituida de material duro en superficie continua uniforme. En el caso de terrenos aun mas desfavorables (terrenos pantanosos, limo o legamo), es indispensable prever toda una obra para asentar el tubo; cama de piedras de gran espesor, losa de concreto, etc.

Cabe hacer mención que la arena fina sola es peligrosa y no debe utilizarse ya que podría, por asentamiento desaparecer en el terreno blando, dejando el tubo sin asiento.

El relleno del tubo consta de tres capas diferentes que son:

Relleno de Acostillado

Consiste en llenar el espacio entre el tubo y la pared de la zanja, simultaneamente en ambos lados hasta cubrir 180°. Este relleno debe ser efectuado con material homoganeo granular o debidamente coherente de preferencia balastro de piedra triturada o de cantos rodados que pasen el tamiz de 1" (TEPSA), o de un tamaño maximo de 6 cm. (COMECOP).

Relleno Clasificado Compactado

Consiste en recubrir el tubo hasta 30 cm. por encima de la generatriz superior. Este relleno se efectua en capas hasta de 15 cm. y es semejante al relleno de acostillado, en sus exigencias pudiendo ser menores en lo que concierne a la calidad del material y su compactación final.

Relleno a Granel

Este relleno esta compuesto con material producto de la excavación, libre de piedras grandes, lentes de arcilla, raices etc. y debe ser compactable. Se coloca en capas de 20 a 30 cm. de espesor debidamente apisonadas.

Las fig. con respecto a zanjas se presentan en el anexo (64).

3.7 Nomenclatura

Es importante describir en el proyecto a las piezas especiales con su nombre exacto y completo, tomando en cuenta los siguientes puntos:

- 1.- Nombre de la pieza.
- 2.- Diámetro en metros o centímetros, entre paréntesis en pulgadas.
- 3.- Terminales con su abreviación.
espiga = E
campana = C, etc.
- 4.- Deflexión en caso de los codos.
- 5.- Tipo de salida en caso de derivación, registro ó válvula así como si es izquierda o derecha, si tiene dos salidas indicar primero la mayor.
- 6.- La longitud aprovechable en el caso de los tubos cortos.
- 7.- En el caso de reducciones, indicar primero el diámetro mayor, siguiendo el tipo de material, y después el diámetro menor también con su terminal.
- 8.- En el caso de los cierres es conveniente mencionar si es o no cierre normal.

3.8 Presentación del Proyecto

Una vez terminado el proyecto será necesario elaborar los documentos necesarios para la realización de las obras, dichos documentos deberán de contener los siguientes datos:

- a) Memoria Descriptiva del Proyecto.
- b) Presupuesto de las Obras.
- c) Planos de Proyecto.
- d) Diseño Hidráulico.

a) **Memoria Descriptiva del Proyecto.** Esta actividad comprende un desglose de todos los estudios y cálculos realizados en la elaboración del proyecto como pueden ser:

* *Estudios realizados en campo y gabinete.* Con la finalidad de conocer la trayectoria de la línea de proyecto, se realizan recorridos de campo a lo largo de las calles en donde pasará la línea de proyecto, con el objeto de conocer las características del trazo e identificar posibles interferencias de alcantarillado, gas, energía eléctrica, teléfono y agua potable que puedan presentarse en el trazo de la línea en cuestión.

Información general relativa a los servicios existentes. Se presenta la información obtenida por parte de las Dependencias Oficiales en lo referente a planos, redes primarias como secundarias de agua potable y lo existente de redes de atarjeas, que estuviera de alguna forma relacionada con el proyecto.

* *Informes topográficos.* En base al trazo seleccionado, se realiza el levantamiento topográfico mediante el cuál se definen las calles, paramentos, etc. así como la localización de registros de agua potable, pozos de visita de alcantarillado con el objeto de identificar los PI (puntos de inflexión) que con lleva la determinación del cadenamiento y, los ángulos de cada uno.

* *Memoria de cálculo de cada parte del proyecto y criterio utilizado en los cálculos.*

* *Especificaciones de Construcción Adicionales.*

b) Presupuesto de las Obras. Se presentará el presupuesto de las obras relativas del proyecto debiendo detallar todos los conceptos de las obras generales y de estructuras especiales, tanto por lo que se refiere a mano de obra como a materiales, haciendo distinción por lo que respecta a tuberías y equipos. El presupuesto deberá elaborarse con un

catálogo de precios unitarios actualizado, se presentará el resumen del presupuesto.

c) **Planos de Proyecto.** Los planos del proyecto se presentarán en unas dimensiones apropiadas , con indicaciones de escalas gráficas y numéricas, así como la orientación. El proyecto de la línea de conducción se debe presentar en planta y perfil con escalas apropiadas recomendándose escalas para la planta de 1:500 a 1:5000, y para el perfil de 1:100 a 1:500. El perfil deberá contener datos de elevaciones de terreno, plantilla, cadenamiento, cota piezométrica y representada la línea piezométrica con su pendiente, tanto y velocidad de flujo. El plano deberá contener:

* Diámetros, clases y cantidades de tubería.

* Se presentará un despiece detallado de la línea de conducción, donde se indique el cadenamiento, elevación, tamaño y pendiente de cada pieza utilizada.

* Tabla de Crucceros. Aquí se presenta el arreglo de los crucceros, Indicándose el número de cruccero que sea y mostrándose simbólicamente la posición de las piezas especiales que lo componen.

* Lista de Despiece por Cruccero. Es una lista detallada de todas las piezas que forman cada uno de los crucceros,

indicándose el número de crucero del que se trata, los diámetros de las piezas, el material que la constituyen y el tipo de unión (campana, espiga, brida, etc.).

* Resumen de Tubería y de Piezas Especiales. Es una tabla donde se presenta la suma de las piezas de tubería empleados, ya sean tubos estandar o cortos, así como las piezas especiales utilizadas, codos, tees, tornillos, carretes, etc.

* Tabla de Cantidades de Obra. En ésta tabla se enumera los volúmenes de excavación, plantilla, rellenos, ruptura y reposición de pavimentos en caso de existir, concreto para atraques y acarreos.

* Dimensiones de la Zanja. Se debe mostrar las dimensiones y el tipo de material empleado en la construcción de la zanja.

* Perfil de la línea. Se debe mostrar el perfil de la línea de conducción, a una escala apropiada y mostrando la disposición de manera general de las piezas que la componen, así como su cadenamiento y elevación de plantilla, pendiente etc.

También se debe mostrar la infraestructura existente (colectores, ductos de cables, tubos de agua potable, gasoductos, etc.) que pueda obstruir ó modificar el trazo de la línea, ubicando su posición exacta.

* **Planta.** La planta deberá mostrar el trazado de las calles (de existir), así como la infraestructura existente que pueda obstruir el trazo, ubicación del norte, de los PI (Puntos de Inflexión), de las coordenadas, bancos de nivel etc.

* **Simbología.** Debe mostrar todos los signos convencionales utilizados para su rápida identificación.

* **Notas.** Son todos los comentarios, aclaraciones y recomendaciones para hacer más clara la presentación del plano, en ellas habrá que especificar las características de la tubería, topografía etc.

* **Croquis de Localización.** Debe presentar la ubicación de la zona de proyecto, mostrando las avenidas o accesos principales, así como los puntos de referencia más importantes para su pronta localización.

d) Diseño Hidráulico. Las líneas de conducción en concreto preesforzado permiten conducir grandes volúmenes de agua, dichos volúmenes son conducidos generalmente por gravedad ya sea trabajando como canal o a presión dependiendo de las características topográficas que se tengan.

Conducciones a Esguerrimiento Libre

En éstas conducciones, las pérdidas de carga determinan la pendiente de la conducción, pasada la zona de perturbaciones debidas a la entrada. El gasto se determina por el tirante del agua en la conducción y correlativamente también la velocidad, según la superficie del perimetro mojado. Se ha observado que las velocidades del esguerrimiento son proporcionales a la raíz cuadrada de la pendiente de la conducción y en función creciente del radio hidráulico, así tenemos que una de las fórmulas más usadas es la de Manning, conocida en Europa como Strickler, se escribe:

$$V = K_m R^{2/3} J^{1/2} \quad \text{donde} \quad K_m = \frac{J}{n}$$

Para conducciones a tubo lleno, con revestimiento de mortero y paredes muy lisas, el coeficiente K, alcanza el valor máximo de 100; así se tiene que:

$$K_m = J/n \quad \text{Por lo que si } K=100 \\ \text{se tiene } n=0.01$$

Para redes de concreto construidas para sistemas de alcantarillado se recomienda $n=0.0011$

En el anexo (64-A) se presenta una gráfica para pérdida de carga en alcantarillado, y en el anexo (64-B) se muestra un nomograma para conducciones parcialmente llenas.

Conducción a Presión

Cuando la tubería trabaje a presión, el cálculo hidráulico de la línea consistirá en utilizar la carga disponible para vencer las pérdidas por fricción únicamente, ya que en éste tipo de conducciones las pérdidas secundarias pueden ser despreciables debido a que serán muy pequeñas, siempre y cuando la conducción no tenga un número de codos excesivo de lo contrario se deberá adcionar a las pérdidas de carga por fricción las correspondientes a los codos.

Las investigaciones experimentales y las observaciones en numerosas conducciones en servicio, indican que las fórmulas que más se adaptan al cálculo hidráulico de este tipo de conducciones son las de Colebrook y Williams-Hazen. A continuación se precisan éstas fórmulas, considerando también las de Manning y Scobey que pueden ser utilizadas.

A) Fórmula de Colebrook

$$J = \lambda \frac{V^2}{2 g D}$$

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \text{ Log} \left(\frac{K}{3.7 D} + \frac{2.51 \nu}{V D \sqrt{\lambda}} \right)$$

Es posible medir en una forma sencilla los valores de K para diferentes paredes a fin de obtener la ley de pérdida de carga correspondiente. La experiencia ha demostrado que los tubos de concreto fabricado con las técnicas modernas, deberán proporcionar un valor $K = 0.0001 \text{ m}$.

B) Fórmula de Hazen - Williams

$$V = 0.85 C R^{2/3} J^{0.54}$$

Establecida en 1905, ha dado lugar a numerosas confrontaciones experimentales del coeficiente "c". Estudios realizados en 1963 permiten concluir que es posible dar un valor a "c", para tubos de concreto igual a 145.

C) Fórmula de Scobey

$$V = C_b D^{0.625} J^{0.56}$$

Se emplea preferiblemente para tubos de paredes de concreto. Resultados experimentales realizados en 1963, permiten otorgar un valor a "c" de 37 para tubos de concreto de fabricación moderna.

D) Fórmula de Manning

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2}$$

Para concreto centrifugado se adopta un valor de 0.009. En el anexo (14-A) se muestran los ábacos que se deducen de las fórmulas descritas arriba.

Pérdidas de Carga en Piezas Especiales

Las fórmulas de pérdida de carga por fricción descritas, suponen que las conducciones a las que van a aplicarse, tienen un número de codos normal. Para calcular las pérdidas de carga producidas en codos, cuando estos son excesivos en una conducción se utiliza la expresión descrita en el cap.1:

Los valores de K que se recomiendan para tuberías de concreto preesforzado son los siguientes:

DIAMETRO (mm)	VALOR DE K
920	0.215
1020	0.220
1220	0.228
1400	0.230
1520	0.238
1820	0.240
2100	0.237
2300	0.234
2500	0.237

En el anexo (15-C) se muestra una gráfica para obtener los valores de pérdida de carga en dichos codos.

En el perfil de la conducción, se realizará el trazo de la línea piezométrica que corresponde a los diámetros que satisfagan la condición de que la carga disponible sea igual a la pérdida de carga por fricción. Se deberá tener cuidado de que las velocidades de escurrimiento en la línea ya sea que ésta trabaje como canal o a presión, no deberán ser menores de 0.5 m/s para evitar asentamiento de sólidos

contenidos en el agua. La velocidad máxima permisible para evitar la erosión será para tuberías de concreto reforzado de 0.60 m. de diámetro o mayores de 3.5 m/s.

Cuando la topografía sea accidentada se localizarán válvulas de purga de aire en los sitios más elevados del perfil, siendo el diámetro de la válvula función del gasto de conducción y presión o nomogramas que para tal fin tienen los fabricantes, (ver capítulo 1).

Así mismo, en los puntos bajos de la línea deberán colocarse desagües justificados desde el punto de vista de costo y operación. No es recomendable la utilización de válvulas, ya que el cierre de éstas pueden provocar sobrepresiones y alteraciones del régimen del flujo que pueden colapsar la tubería.

Inflexión) que con lleva la determinación del cadenamiento y los ángulos de cada uno.

Cálculo (Diseño Geométrico). Se presenta en cada planta y perfil, se determinan elevación de plantilla, ,pendiente geometrica, deflexiones horizontal y vertical, asi como el diseño de cruceros, indicando las piezas especiales requeridas por cada uno de estos, resumen de piezas especiales y tubería tabla de tubería que para fines constructivos se necesita, en ella se indican el kilometraje, cota de plantilla en que se localizan las piezas especiales y la tubería, la descripción de estas, número y longitud de las mismas.

Por último se presentan las cantidades de obra y tubería, notas y simbología para fines constructivos.

Catálogo de Conceptos de Obra y Presupuesto. En este punto se presenta el catálogo de conceptos de obra requeridos para llevar a cabo la construcción de las líneas, así como el costo aproximado de éstas.

IV PROYECTO EJECUTIVO DE LINEAS DE CONDUCCION EN CONCRETO PRESFORZADO

4.1 Revisión de una Línea de Conducción en Concreto Presforzado

- Antecedentes

Debido a los problemas constructivos con algunas de las instalaciones existentes y cruces conflictivos en varias avenidas importantes de la ciudad, por lo tanto fue necesario la modificación del trazo. Que es el trazo de la línea que a continuación se revisará, con una longitud aproximada de 4, - 436.79 m.

De acuerdo a los recorridos de campo y con base a la información obtenida, se encuentran algunos cruces con colectores, por lo tanto en el plano aparecen el diseño de desvios con el fin de proteger lo ya existente y la línea de proyecto que se está elaborando.

En cuanto a la topografía notamos que en el trazo de la línea no existen desniveles pronunciados, por lo tanto este proyecto no contó con grandes problemas Hidráulicos.

- Datos

Elev. Inicial = 2243.675 (0+000.000)

Elev. Final = 2236.75 (4+466.951)

Longitud de la Línea = 4467

Diam.de Tubería = 48 (1.22m)

Area = 1.169 m²Gasto de diseño = 1.4 m³/s $Q = AV ; V = Q/A$ $V = (1.4 \text{ m}^3/\text{s}) / (1.169 \text{ m}^2) = 1.2 \text{ m/s}$

- Cálculo Hidráulico

Determinación de Pérdidas por Fricción. (utilizando fórmula de Hazen - Williams) :

$$J = \frac{V}{0.85 C R^{0.49}}$$

considerando para tubos de concreto $c = 145$

Sustituyendo:

$$J = \frac{V}{(0.85)(145)(0.305)^{0.49}} = 0.0007524$$

Hfricción = $J \times L ; .000752 \times 4467 \text{ m.} = 3.36 \text{ m.}$

Pérdidas de Carga por Codos.

Delexión	K	P	No.	Total
90	0.228	0.01673	2	0.03346
75	0.19	0.01394	1	0.01394
67 30'	0.171	0.01255	2	0.02510
60	0.152	0.01116	1	0.01116
52 30'	0.133	0.00976	1	0.00976
37 30'	0.095	0.00697	1	0.00697
30	0.076	0.00558	1	0.00558
22 30'	0.057	0.00418	1	0.00558
15	0.038	0.00279	3	0.01254
7 30'	0.019	0.00139	13	0.01807
4 30'	0.0114	0.00084	6	0.00504
2 14'	0.0057	0.00042	12	0.00504

TOTAL:	0.15224 m
--------	-----------

Pérdidas Totales = $H_{fric.} + H_{fmenores}$

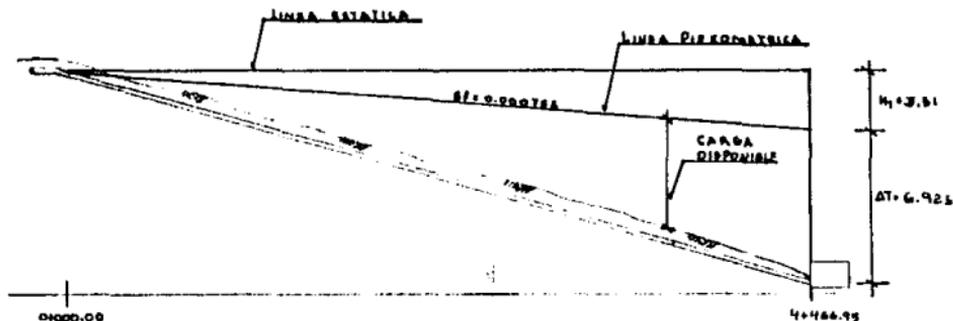
$$= 3.36 + 0.15$$

Pérdidas Totales = 3.51

Pendiente piezométrica :

$$Sf = H_f/L = 3.36/4467 = .000752$$

Con las pérdidas totales obtenidas y la pendiente "Sf" se traza tanto la línea estática (desnivel topográfico), como la línea piezométrica, así como las cargas de trabajo más desfavorable, como se muestra a continuación.



Llegando a la conclusión de que para la tubería Lock Joint SP - 12 Clase 50, las cargas de trabajo obtenidas serán soportadas por dicha tubería.

- Tabla de tubería

Así mismo en el proyecto ejecutivo se elaboró la tabla de tubería o lista de despiece, que contiene de acuerdo con la topografía existente, el arreglo paso a paso de la tubería es decir, la ubicación precisa de cada elemento que conformará la línea de proyecto como es el tipo de pieza a colocar, el cadenamiento donde se ubica, pendiente, deflexión etc. En el proyecto se elaboró una tabla por plano.

A continuación se muestra una de las tablas que se elaboraron en el proyecto en estudio.

- Tabla de Piezas Especiales

Esta tabla se elaboró con el objetivo de hacer un listado de todas las piezas necesarias para formar los diferentes cruceros o arreglos necesarios para conformar la línea de conducción, contiene el número de identificación del crucero que en este caso es el cadenamiento en que se encuentra, también indica la posición del crucero con una flecha (si es horizontal o vertical) y la descripción de todas las piezas necesarias para formarlo (empaques, codos, válvulas, tornillos etc.). En este proyecto también se elaboró una tabla para cada plano.

A continuación se muestra una tabla de piezas especiales correspondiente al proyecto en estudio.

PIEZAS ESPECIALES	CANT
CRUCERO 0+006.00 (H-V)	
- Codo de 90° acero bridado en ambos extremos H V	1
- Tubo de acero 0.19m. 36" O con brida en ambos extremos L=4.51m.	1
- Codo de 11'15" acero 36" O bridado en ambos extremos V	1
- Ampliación de 0.91m. x 1.22m. (36" x 48") O, unión brida - espiga.	1
- Tubo corto de 1.22m. (48") O, unión campana - espiga L=2.50m.	1
- Codo de 52'30" de 1.22m. (48") O, unión campana - espiga	1
- Tornillos de acero con cabeza y tuerca exagonal de : 38.1mm. (1½") O y 177.2mm. (7") de long.	96
- Empaque de hule de 0.91m. (36") O	1
CRUCERO 0+051.768 (H - V)	
-Tubo corto de 1.22m. (48") O , unión campana-espiga L=2.43m.	1
-Codo de 90° y 1.22m. (48") O, unión campana-espiga	1
-Codo de 22'30" y 1.22m. (48") O unión campana-espiga	1
-Medio bisel 2'14" y 1.22m. (48") O, unión campana-espiga	1
CRUCERO 0+096.615 (H - V)	
-Tubo corto de 1.22m. (48") O, unión campana-espiga y L=1.215	1
-Codo de 37'30" y 1.22m. (48") O, unión campana-espiga	1
-Medio bisel 2'14" y 1.22m. (48") O, unión campana-espiga	1

- Cantidades de Obra

En esta tabla se realizó una descripción de los volúmenes de excavaciones, rellenos, plantillas, pavimentos atraques etc. especifica también el tipo de suelo. Cabe mencionar que las cantidades mencionadas son estimadas en base al perfil topográfico obtenido.

En el proyecto ésta tabla cuenta con los siguientes datos:

Volúmen de excavación
 Volumen de plantilla
 Volúmen de acarreo
 Volúmen de relleno compactado
 Volúmen de relleno compactado
 Ruptura y reposición de pavimento
 concreto $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$

para llenar la tabla se necesitan como datos:

- * longitud de la línea
- * diámetro de tubería utilizado (para determinar el tipo de zanja)
- * No. de atraques
- * tipo de suelo

A continuación se muestra una de las tablas de cantidades de obra calculadas en el proyecto.

CANTIDADES DE OBRA		
C O N C E P T O	CANTIDAD	UNIDAD
Volúmen de excavación	2909.72	m3
Volúmen de plantilla	274.17	m3
Volúmen de acarreo	2049.91	m3
Volúmen de relleno compactado (2)	1089.35	m3
Volúmen de relleno compactado (3)	969.47	m3
Ruptura y reposición de pavimento	109.66	m'
Concreto f'c=150 Kg/cm ²	6.29	m3

- *Cantidades de Tubería*

Esta tbla es un resumen del número clase y tipo de tubos que conforman la línea de conducción del proyecto.

El tipo de tubo utilizado en el proyecto es tubo standard Lock Joint de 1.22 m. (48") de diam. unión campana-espiga con una longitud de 4.88 m según se muestra :

CANTIDADES DE TUBERIA		
C O N C E P T O	CANTIDAD	UNIDAD
Tubo standar de 1.22m. (48") Ø, unión campana-espiga de 4.88m de longitud.	103	Tubos

- *Resumen de Tubería y Piezas Especiales*

Esta tabla presentada en el proyecto presenta un resumen de todas las piezas especiales utilizadas en el tramo de la línea en cuestión, describe inicialmente el nombre de la pieza (codos,biseles,tubos cortos, etc.), diámetro de la pieza en metros y pulgadas, tipo de terminal (espiga, campana, brida, etc), deflexión en caso de los codos, en el caso de los tubos cortos presenta la longitud aprovechable en metros, las tees se describen dando su diámetro nominal indicando su tipo de salida, si es bridad o roscada, tangencial ó radial etc., aunque no se muestra es conveniente también indicar si la salida es hacia la derecha o izquierda. En la descripción de las reducciones se indica primero el diámetro nominal mayor luego el menor y el tipo de unión (espiga, campana etc.), tipo de material de que están constituidas, acero, fierro fundido(fo.fo.), fierro galvanizado(fo.ga.), etc.Acontinuación se presenta una de las tablas correspondientes al proyecto.

RESUMEN DE TUBERIA Y PIEZAS ESPECIALES	
C O N C E P T O	TOTAL
Codo de 90° y 1.22m.(48") O, unión campana-espiga.	1
Codo de 52°30'y 1.22m.(48") O, unión campana-espiga.	1
Codo de 37°30'y 1.22m.(48") O, unión campana-espiga.	1
Codo de 22°30'y 1.22m.(48") O, unión campana-espiga.	1
Medio bisel de 2°14' y 1.22m.(48") O, unión campana-espiga.	2
Tubo corto de 1.22m.(48") O, unión campana-espiga de 2.496.. de lonitud.	1
Tubo corto de 1.22m.(48") O, unión campana-espiga de 2.43m. de longitud.	1
Tubo corto de 1.22m.(48") O, unión campana-espiga de 1.215m. de longitud.	1
Tubo standar 1.22m.(48") O, unión campana-espiga de 4.88m. de longitud.	103
A C E R O	
Codo de 90° y 0.91m.(36") O, bridado en ambos extremos.	1
Codo de 11°15' y 0.91m.(36") O, bridado en ambos extremos.	1
Ampliación de 0.91m. x 1.22m.(36" x 48") O, unión brida-espiga.	1
Tubo de acero de 0.91m.(36") O, con brida en ambos extremos L=4.51m.	1
Tornillos de acero con cabeza y tuerca exagonal de: 38.1mm.(1½) O, y 177.8(7") de longitud.	96
Empaque de hule de 0.91m.(36") O.	1

- Cruceros

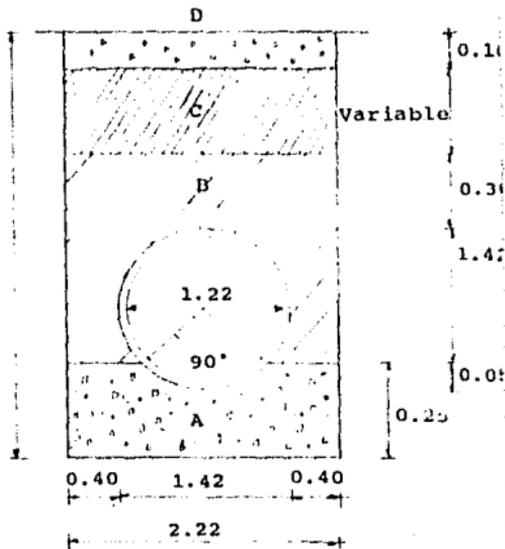
En los planos de proyecto aparecen los cuadros de cruceros que son una descripción mediante simbolos de la secuencia de instalación de las piezas especiales, dichos cuadros muestran el arreglo de las piezas, tipo de

unión, en caso de los codos muestran la dirección de la deflexión (horizontal, vertical), también muestran la posición de los atraques en los puntos donde son necesarios la ubicación de las válvulas y las cajas tipo adecuadas para la operación de las mismas. En cada cuadro de crucero se indicó el kilometraje donde comienza el arreglo, así como los diámetros nominales de las piezas especiales; en el caso de las deflexiones (codos) el sentido de la deflexión se indica con una flecha ya sea hacia arriba, abajo, derecha o izquierda. El significado de cada simbolo es el recomendado en las normas de agua potable y para tubería de concreto presforzado(Ver capitulo 3).

- Seccionamiento y Dimensionamiento de la Zanja

Para el dimensionamiento de la zanja se seleccionaron cuatro tipos de materiales según se muestran en la figura:

- A).- cama de tezontle
- B).- relleno de tepetate, compactado en capas de 20cm. al 90% proctor standard.
- C).- relleno con material producto de la excavación compactado en capas de 20 cm. al proctor standard
- D).- pavimento



La plantilla o cama de la zanja fue especificada con material de tezontle, que es un material granular ligero que permite que el tubo descansa uniformemente en el fondo de la zanja, dicha plantilla debe ser compactada de preferencia al 90% de la prueba proctor.

El espesor de la plantilla corresponde aproximadamente de $r/4$, es decir, de 20 cm. más 5 cm. para poder cubrir la cuarta parte del perímetro del tubo, por lo que el espesor fue proyectado de 25 cm. los cuales se considerarán suficientes para garantizar un descanso adecuado del tubo en el fondo de la zanja.

Después de la plantilla de Tezontle, se especificó un relleno de material seleccionado de banco (tepetate) hasta 30 cm. arriba del lomo del tubo, compactado al 90% de la prueba proctor. En este caso no se recomendó material producto de la excavación para este relleno, dadas las condiciones del terreno de tipo rocoso que en un momento dado puede dañar la tubería.

Una vez protegida la tubería con el relleno anterior, se especificó un relleno de espesor variable según la profundidad a que se encuentre la tubería, de material producto de la excavación, compactado en capas de 20 cm. para favorecer un buen compactado del material. Dicho material debe de estar en lo posible libre de rocas y dado que se encuentra en una vialidad importante, debe tener un compactado equivalente al del terreno adyacente.

Finalmente se colocará la carpeta asfáltica de la vialidad, estimada en un espesor de 10 cm. que sin embargo deberá tener un espesor similar a la del resto de la vialidad.

- Codos de Acero

En el proyecto se diseñarán varios codos de acero, con el objeto de permitirse ciertas deflexiones especiales impuestos por el trazo de la línea, los codos de acero son piezas especiales formadas a partir de un tubo de acero, el cual es cortado en varias partes o "gajos" para formar el codo. Dichos gajos son cortados y soldados con las dimensiones adecuadas para formar la deflexión deseada, esto permite construir codos de cualquier deflexión a partir de un tubo de acero.

Es recomendable que mientras mayor sea la deflexión a formar, mayor sea también el número de gajos, ya que mientras más gajos sean utilizados, el cambio de dirección será menos brusco disminuyendo las pérdidas de carga y las turbulencias. En la siguiente tabla aparece la magnitud de la deflexión y el número de gajos recomendado:

DEFLEXION	No. DE GAJOS
0° - 11.25°	2
11.25° - 60°	3
60° - 90°	4

Un criterio para el diseño de estas piezas especiales, consiste en seleccionar primeramente el radio del codo, tomando para ello una longitud correspondiente a 1.5 veces el diámetro del tubo, una vez hecho esto se traza el ángulo o deflexión deseada y se divide según el número de gajos seleccionado, con la condicionante de que los gajos de los extremos sean la mitad del tamaño que los gajos interiores, es decir, para dimensionar los gajos hay que dividir la deflexión entre el número de gajos de tal forma que los ángulos interiores sean el doble de los exteriores y que la suma de todos sea igual a la deflexión deseada, de tal forma es posible obtener las dimensiones de los gajos del codo mediante trigonometría tal como se muestra en el siguiente diseño:

DATOS

Diam. Nominal del Tubo = 36" (91.44 cm)

Diam. Exterior del Tubo = 93.35 cm. para espesor de 3/8"

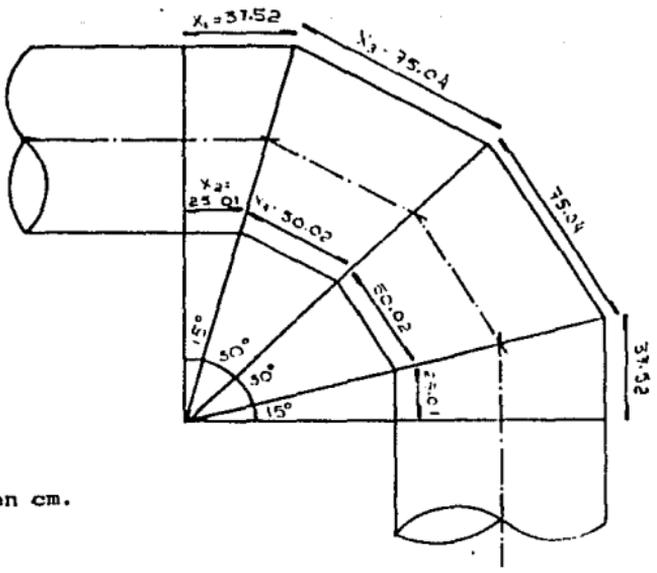
Deflexión = 90 grados

No. de Gajos = 4

Dext. = 93.35

1.5D = 142.02

Acot. en cm.



REVISION DEL DISEÑO DE LOS ATRAQUES

Para el diseño de los atraques se consideró que sólo serían necesarios en los cambios de dirección mayores de 7.5 grados, por estimarse que para deflexiones menores los empujes en la tubería son pequeños. Para las especificaciones de su diseño se hace referencia al plano tipo VC 1327 de S.A.H.O.P.,

debido a que se trata de un proyecto en la zona urbana del D.F., sin embargo para estimar las las dimensiones de algunos atraques, se realizó el diseño de uno.

Se diseñará el atraque necesario para el codo de acero de 90 grados con diámetro nominal de 914 mm. (36") ubicado en el cadenamiento 0+006.0 de la línea de conducción del proyecto.

A) Cálculo del empuje de la tubería.

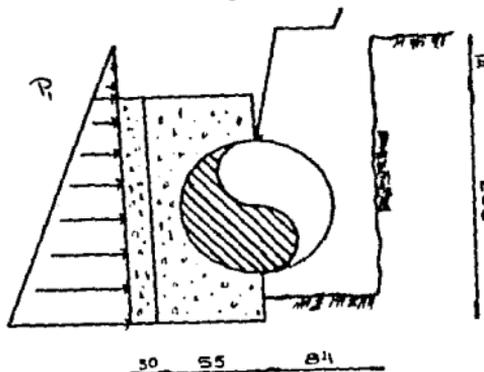
Datos :

Diam. nominal :	914 mm. (36")
Area del tubo :	6561 cm ²
Deflexion :	90 grados
Presión interna :	6.0 kg/cm ² (considerando un 10% adicional de la presión máxima de trabajo)

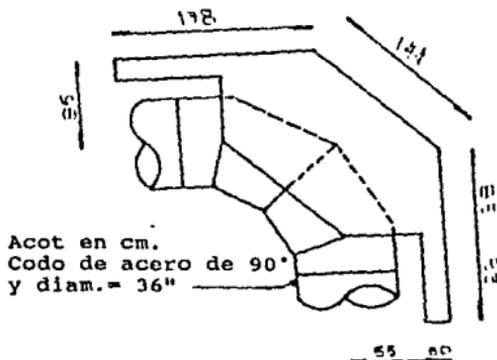
De la fórmula : $E = 2P \text{Asen } \theta/2$ (ver cap. III)
 $E = (2)(6 \text{kg/cm}^2)(\text{sen } 90^\circ/2) = 55672 \text{ kg.}$
 Empuje de la tubería = 55,672 kg.

Proponiendo las siguientes dimensiones de atraque :

Codo de acero de 90°
 y diam. = 36"



ELEVACION



PLANTA

B) Obtención del empuje pasivo del suelo :

Debido a que se carecen de datos de mecánica de suelos, se propondrán los siguientes valores:

Peso volumétrico del suelo (G) : 1.6 T/m³

Angulo de fricción interna : 30 grados
 Resistencia del terreno : 1.5kg/cm²

$$K_p = (1 + \tan 30) / (1 - \tan 30) = 1.5 / .5 = 3.0$$

$$P_1 = K_p \cdot G \cdot h_1 = (3) (1.6 \text{T/m}^3) (.143 \text{m}) = .69 \text{T/m}$$

$$P_2 = K_p \cdot G \cdot h_2 = (3) (1.6 \text{T/m}^3) (2.143) = 10.29 \text{T/m}$$

$$\text{Empuje actuante} = 5.49 \text{ T/m}$$

$$\text{Empuje unitario} = 5.49 \text{T/m} \cdot 2.0 = 10.98 \text{ T/m.}$$

Para un ancho de atraque de 5.0 m.:

$$\text{Empuje pasivo} = (10.98 \text{ T/m}) (5.0 \text{m}) = 54.9 \text{ T.}$$

- Fuerza actuante de fricción suelo-concreto.

De la fórmula de fricción: $F_t = M W$

donde :

M= coef. de fricción suelo-concreto.

W= peso de la estructura.

$$\text{area del atraque: } (1.4 \cdot 1.2) + ((.85 \cdot .85) / 2) \cdot 2 + (.2 \cdot .93 \cdot 2) = 2.82 \text{ m}^2$$

$$\text{volumen : } 2.82 \text{m}^2 \cdot 2.0 \text{m} = 5.64 \text{m}^3$$

$$\text{peso : } 5.64 \text{m}^3 \cdot 2.4 \text{T/m}^3 = 13.54 \text{ T.}$$

considerando un coef. de fricción $M = .6$

$$F_t = .6 \cdot 13.5 \text{T.} = 8.12 \text{ T.}$$

$$\text{Empuje total resistente} = 54.9 \text{ T} + 8.12 \text{ T} = 63.02 \text{ T.}$$

63.02 superior a 55.672 --- se acepta

C) REVISION DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL TERRENO.

$$\text{peso propio del atraque : } 13.54 \text{ T.}$$

$$\text{area del atraque : } 2.82 \text{m}^2$$

Esfuerzo actuante : $13.54 \text{ T} / 2.82 \text{ m}^2 = 4.8 \text{ T/m}^2$
 4.8 T/m^2 menor a 15 T/m^2 --- se acepta

D) Diseño del armado del atraque.

- Analizando el voladizo del los extremos de atraque:

$$W_u = 55.672 \text{ T} / (5.0 \text{ m} * 2.0 \text{ m}) = 1.113 \text{ T/m} \text{ (por metro de ancho)}$$

Cortante = $1.113 \text{ T/m} * .93 \text{ m} = 1.04 \text{ T}$.

Momento flexionante = $(1.113 \text{ T/m} * .93^2) / 2 = .48 \text{ T-m}$

Constantes de diseño :

$f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$

$f'y = 4000 \text{ kg/cm}^2$

$j = .91$

$R = 8.2$

Cortante permisible : $.3 f'c = 3.7 \text{ kg/cm}^2$

Peralte por flexión :

$$d = \sqrt{(48000 \text{ kg-cm}) / (8.2 * 100)} = 7.65 \text{ cm.}$$

Peralte por cortante :

$$dv = 1040 \text{ kg} / (3.7 * 100) = 2.81 \text{ cm.}$$

Peralte necesario 7.65 cm menor a 20 cm propuesto

Se adopta $d = 20 \text{ cm}$

Acero de refuerzo por flexión.

$$A_s = 48000 \text{ kg-cm} / (2000 * .91 * 15) = 1.75 \text{ cm}^2$$

- separación de varillas.

Acero de refuerzo por temperatura.

$$A_{st} = .0015 * 100 * 30 = 4.5 \text{ cm}^2$$

- Predomina acero por temperatura -

Separación :

$$S = (100 * .71) / 4.5 = 16 \text{ cm.}$$

Se proponen varillas del No. 3 a cada 16 cm.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Todas las piezas especiales y tubería serán limpiados previo a su instalación, especialmente en zonas de junteo de la espiga y la campana, éstas se lubricarán con jabón neutro, los empaques se lubricarán por inmersión en una solución de jabón neutro.

En casos donde exista una pequeña deflexión en forma aislada, se utilizarán biseles y medios biseles así como abrir las juntas.

Los tubos se instalarán en el sentido de la pendiente ascendente, con la campana hacia arriba.

Los empaques que se estén usando serán protegidos del intemperismo, y así evitar agrietamientos y resequedad del hule.

Los atraques de una línea o circuito serán construidos con suficiente anticipación a la prueba hidrostática. (presión hidrostática de 7.0 kilogramos por centímetro cuadrado).

En cuanto al diseño Hidráulico para el análisis de pérdidas de carga debidas ala fricción, se puede recurrir a varias fórmulas propuestas por varios autores, sin embargo debido al tipo de material y al tamaño de los diámetros de las tuberías de concreto reforzado, las fórmulas que mejor se adaptan y proporcionan mejores resultados es la fórmula de Hazen - Williams, para una $c = 140$ dado que se han obtenido experimentalmente resultados más confiables. También se recomiendan las fórmulas de Colebrook, y Manning.

También es importante tener mucho cuidado en proteger las tuberías contra los efectos del golpe de ariete, ya que debido a que las tuberías se les coloca frecuentemente dentro de zanjas, y estan sujetas a cargas interiores y exteriores importantes, las paredes de los tubos son de un espesor relativamente grande, por lo que adquieren una rigidez que las hacen poco aptas para tomar grandes sobrepresiones dinámicas por golpe de ariete. Por tal motivo es recomendable construir dispositivos que absorban o atenúen el golpe de ariete cuando sean necesarios, además de que generalmente

resulta más económico construir dispositivos protectores que colocar una tubería mucho más resistente para absorber dicha sobrepresión.

En la actualidad las tuberías de concreto preesforzado son muy empleadas en la construcción de líneas de conducción de gran diámetro, ya que ofrecen buena resistencia a cargas externas importantes, buena permeabilidad, además de una gran oferta en el mercado y una gran dualidad de piezas especiales.

Aunque existen principalmente tres fabricantes de tuberías de concreto presforzado, cada uno con sus especificaciones y procedimientos de construcción particulares de las mismas, podemos afirmar que en general todas presentan las mismas cualidades mecánicas e hidráulicas requeridas para el diseño.

Al realizar la revisión del proyecto ejecutivo, se comprobó que existen ciertas variantes de diseño de las recomendadas por los fabricantes, sin embargo al realizar un proyecto ejecutivo no siempre es necesario seguir al pie de la letra las recomendaciones propuestas, ya que éstas son generales y si un estudio detallado realizado por el Ingeniero justifica no aplicar dichas recomendaciones, estas pueden ser omitidas o modificadas, como fué el caso a nuestro critrio de varios criterios de diseño aplicados.

A N E X O S

ANEXO 1

EQUIVALENCIAS DE VISCOCIDAD ABSOLUTA DINAMICA

PARA OBTENER MULTIPLIQUESE POR	Pascal segundo Pas	Centipoise Cp	Poundal segundo por pie cuadrado pdl s/ft ²	Libra - fuerza segundo por pie cuadrado (lb f s/ft ²)	Kilogramo-fuerza segundo por metro cuadrado Kgf s/m ²
1 pascal segundo (= 1 N s/m ²) = Pas	1	1000	0.672	2.09 x 10 ⁻²	0.102
1 centipoise = Cp	0.001	1	6.72 x 10 ⁻⁴	2.09 x 10 ⁻⁵	1.02 x 10 ⁻⁴
1 poundal segundo pie cuadrado (= 1 lb/(ft s)) = pdl s/ft ²	1.488	1488	1	0.031	0.152
1 libra - fuerza segundo pie cuadrado (= 1 slug/(ft s)) = lb f s/ft ²	47.88	47880	32.174	1	4.882
1 kilogramo - fuerza segundo por metro cuadrado Kgf s/m ²	9.807	9807	6.590	0.205	1

ANEXO 2

EQUIVALENCIAS DE VISCOCIDAD CINEMATICA

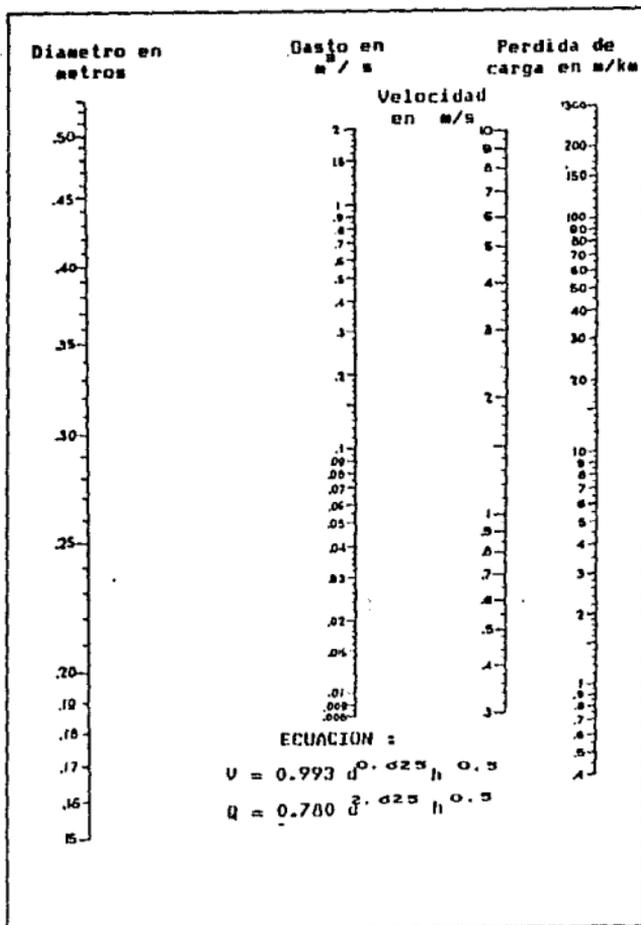
PARA OBTENER MULTIPLIQUESE POR	Metro cuadrado por segundo m ² /s	Centistokes Cst	Pulgada cuadrada por segundo in ² /s	Pie cuadrado por segundo ft ² /s
1 Metro cuadrado por segundo m ² /s =	1	1 x 10 ⁻⁶	1550	10.764
1 Centistokes Cst =	1 x 10 ⁻⁶	1	1.55 x 10 ⁻³	1.0764 x 10 ⁻⁵
1 Pulgada cuadrada por segundo in ² /s =	6.452 x 10 ⁻⁴	645.2	1	6.944 x 10 ⁻³
1 Pie cuadrado por segundo ft ² /s =	9.290 x 10 ⁻²	92903	144	1

ANEXO 7

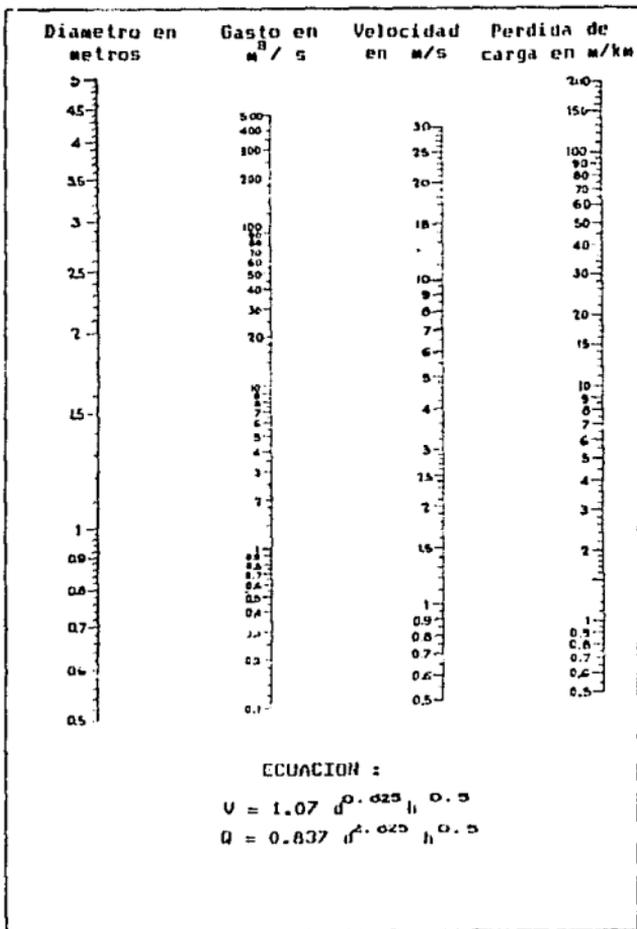
VALORES DE f PARA EMPLEARSE EN LA FORMULA DE DARCY

DIAMETRO EN PULGADAS	TUBERIA DE HIERRO								TUBERIA DE CONCRETO			
	NUEVA				VIEJA							
	VELOCIDAD EN METROS POR SEGUNDO											
	0.50	1.50	3.00	6.00	0.50	1.50	3.00	6.00	0.50	1.50	3.00	6.00
1	0.040	0.035	0.034	0.030	0.071	0.071	0.071	0.071	0.055	0.047	0.043	0.039
3	0.030	0.027	0.025	0.023	0.054	0.054	0.054	0.054	0.042	0.035	0.033	0.030
6	0.025	0.023	0.021	0.019	0.045	0.045	0.045	0.045	0.035	0.030	0.027	0.025
10	0.022	0.020	0.019	0.017	0.040	0.040	0.040	0.040	0.031	0.026	0.024	0.022
15	0.020	0.018	0.017	0.015	0.036	0.036	0.036	0.035	0.027	0.024	0.022	0.020
24	0.018	0.016	0.015	0.013	0.032	0.032	0.032	0.032	0.024	0.021	0.019	0.018
36	0.016	0.014	0.014	0.012	0.029	0.029	0.029	0.029	0.022	0.019	0.017	0.016
48	0.015	0.013	0.013	0.011	0.026	0.026	0.026	0.026	0.020	0.018	0.016	0.015
72	0.013	0.012	0.011	0.010	0.024	0.024	0.024	0.024	0.019	0.016	0.015	0.013

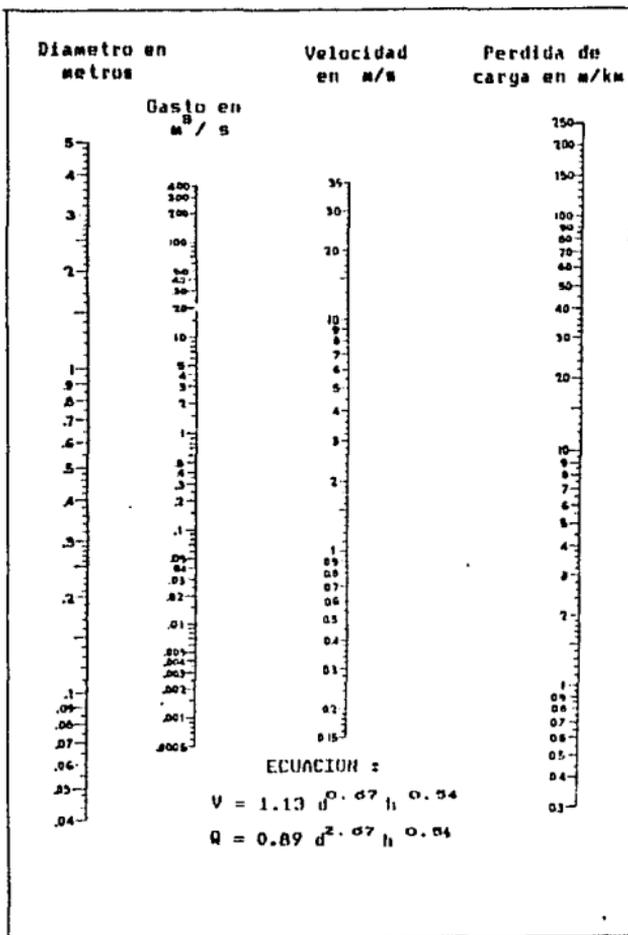
ANEXO B

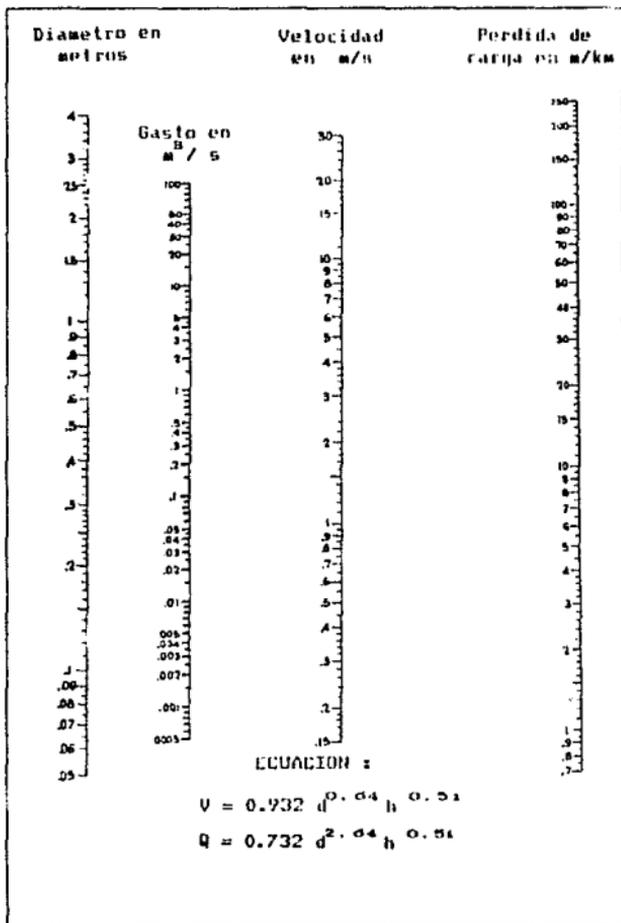


ANEXO 9

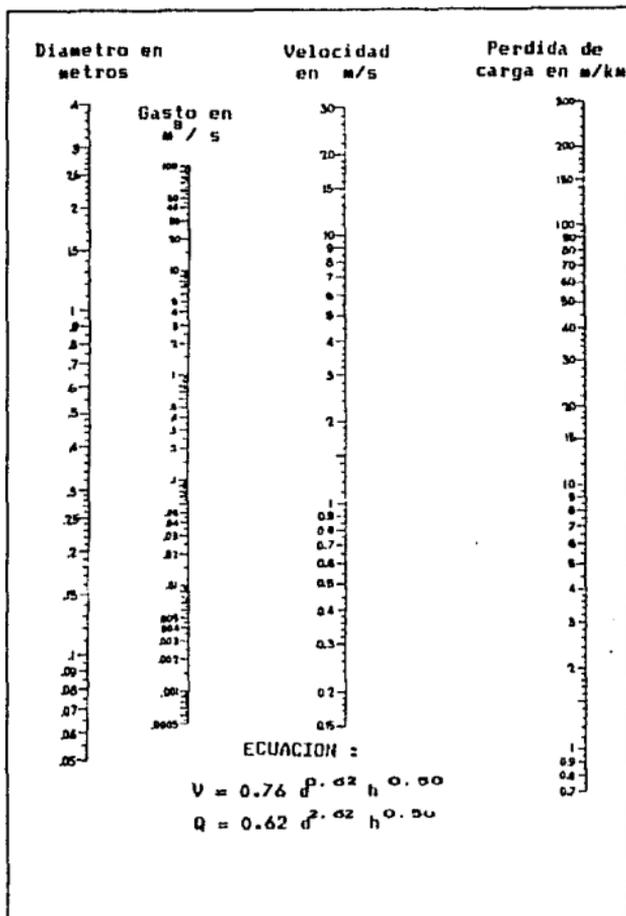


ANEXO 10





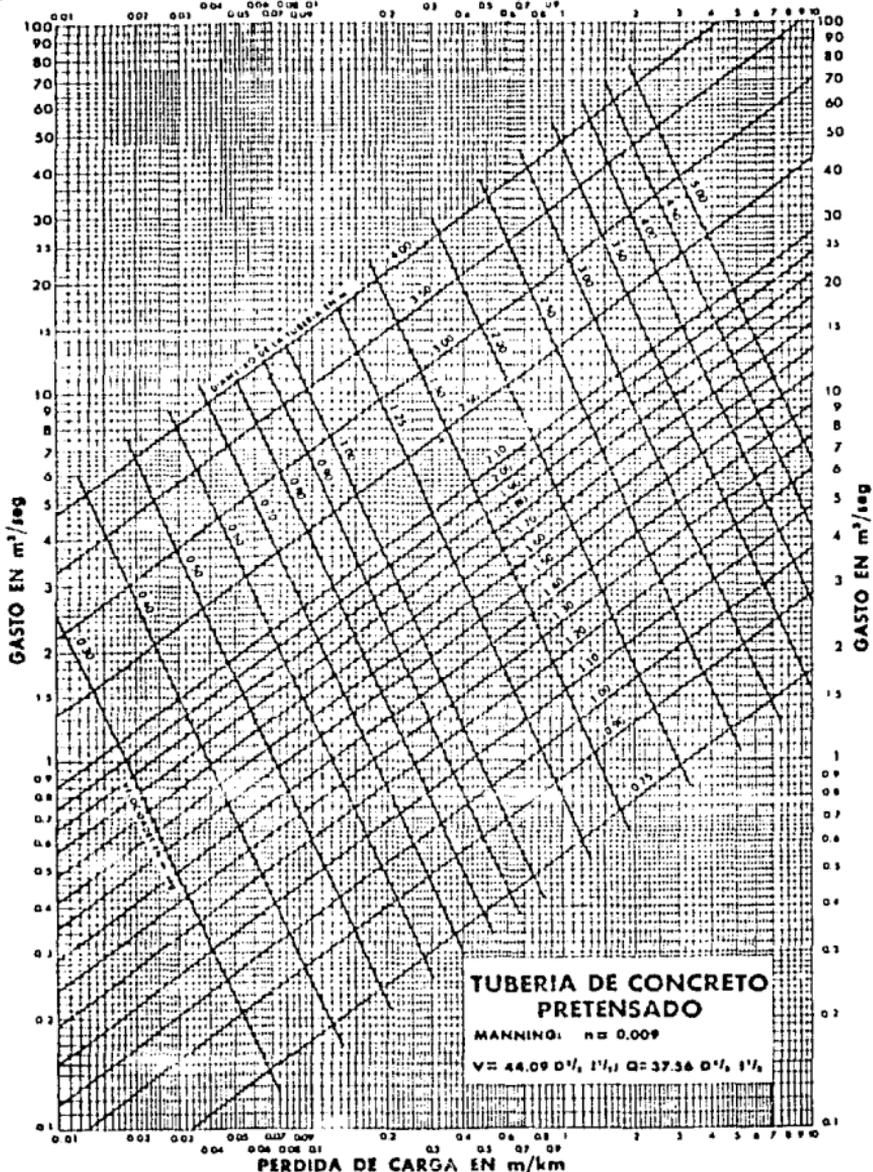
ANEXO 12



FORMULAS DE BARNES

TIPO DE TUBERIA	FORMULAS
Hierro colado, asfaltado. Agregar un 45% al gasto Q.	$V = 1.179 \text{ d} \quad h$ $Q = 0.926 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.000700 \text{ L} \quad V$ d
Hierro colado nuevo, sin revestimiento interior. Agregar 55% al gasto Q.	$V = 1.077 \text{ d} \quad h$ $Q = 0.845 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.000867 \text{ L} \quad V$ d
Hierro forjado, nuevo remachado en espiral y asfaltado interiormente. Agregar 33% al gasto Q.	$V = 1.076 \text{ d} \quad h$ $Q = 0.861 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.000845 \text{ L} \quad V$ d
Hierro forjado nuevo, asfaltado interiormente. Acero en lamina. Agregar 33% al gasto Q.	$V = 1.188 \text{ d} \quad h$ $Q = 0.933 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.000721 \text{ L} \quad V$ d
Hierro forjado nuevo, doblemente remachado y asfaltado interiormente. Acero en lamina agregar 33% al gasto Q.	$V = 1.000 \text{ d} \quad h$ $Q = 0.785 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.001003 \text{ L} \quad V$ d
Tuberia revestida interiormente con cemento. Agregar 6% al gasto Q.	$V = 1.294 \text{ d} \quad h$ $Q = 1.016 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.000588 \text{ L} \quad V$ d
Vidrio limpio. Agregar 5% al gasto Q.	$V = 0.853 \text{ d} \quad h$ $Q = 0.654 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.001375 \text{ L} \quad V$ d
Plomo en buen estado y limpio. Agregar 5% al gasto Q.	$V = 1.046 \text{ d} \quad h$ $Q = 0.822 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.000926 \text{ L} \quad V$ d
Tuberia de duela, nueva y en buen estado. Agregar 8% al gasto Q.	$V = 1.042 \text{ d} \quad h$ $Q = 0.819 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.000941 \text{ L} \quad V$ d
Tuberia de tablones, en mal estado. Agregar 8% al gasto Q.	$V = 0.957 \text{ d} \quad h$ $Q = 0.752 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.001083 \text{ L} \quad V$ d

PERDIDA DE CARGA EN m/km

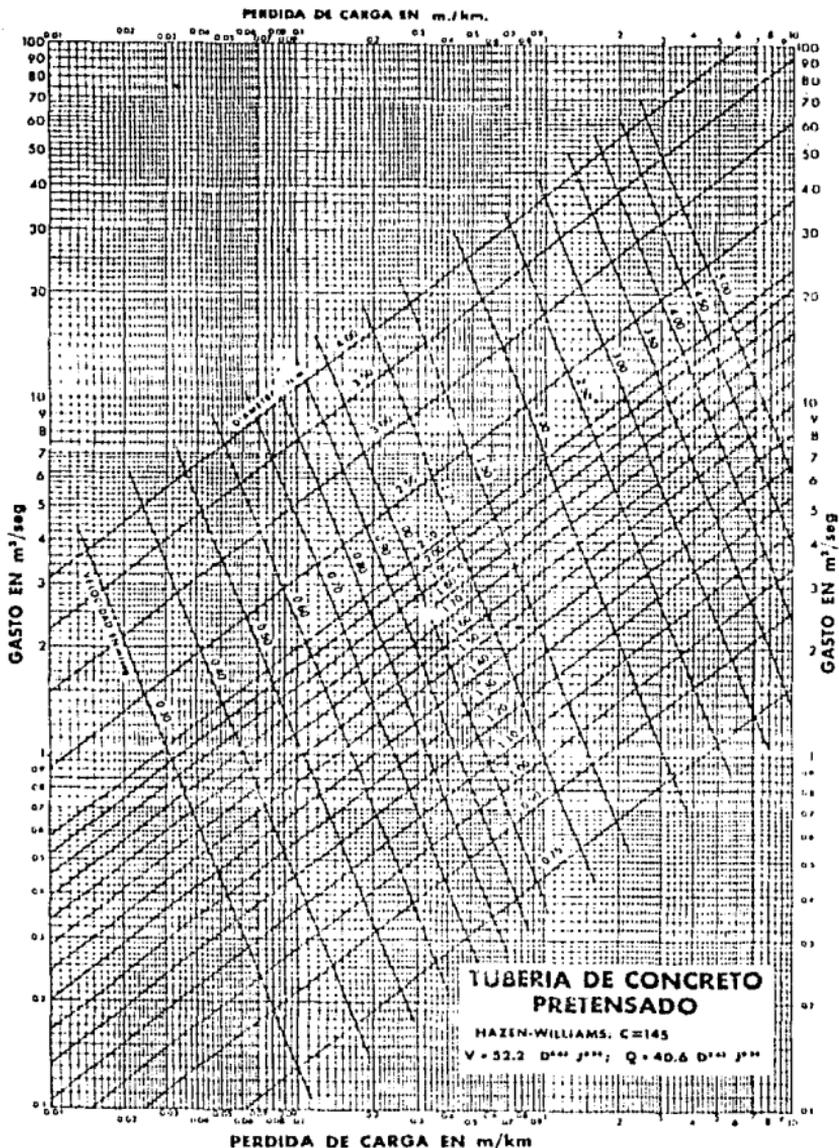


ANEXO 15

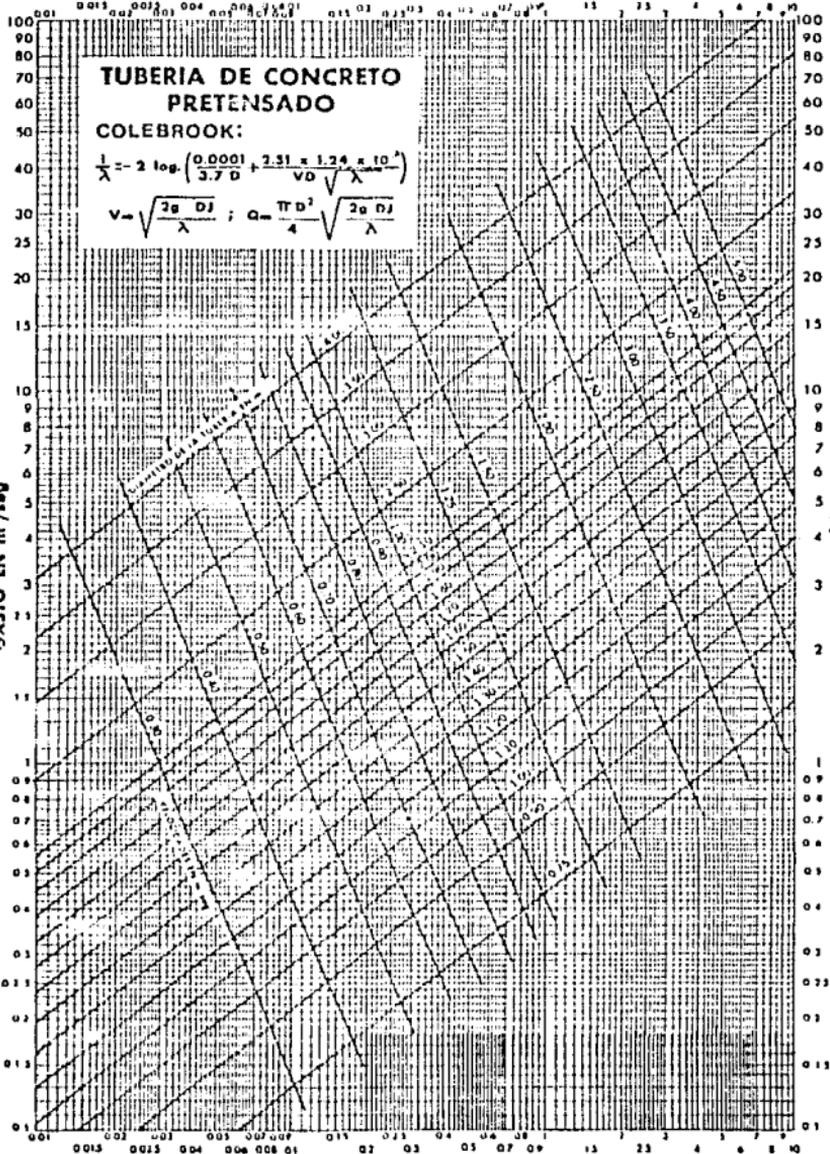
FORMULAS DE LEA Y KING

TIPO DE TUBERIA	F O R M U L A S
Hierro colado en buen estado.	$V = 1.148 \text{ d} \quad h$ $Q = 0.902 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.00077 \text{ L} \quad V$ d
Hierro colado, viejo y en mal estado.	$V = 1.727 \text{ d} \quad h$ $Q = 1.356 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.00140 \text{ L} \quad V$ d
Tubería remachada, en buen estado.	$V = 1.739 \text{ d} \quad h$ $Q = 1.366 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.00115 \text{ L} \quad V$ d
Hierro galvanizado.	$V = 1.080 \text{ d} \quad h$ $Q = 0.848 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.00087 \text{ L} \quad V$ d
Tubería con revestimiento interior de asfalto presentando una superficie lisa.	$V = 1.287 \text{ d} \quad h$ $Q = 1.011 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.00064 \text{ L} \quad V$ d
Tubería de duela en buen estado.	$V = 1.053 \text{ d} \quad h$ $Q = 0.827 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.00091 \text{ L} \quad V$ d
Concreto.	$V = 1.773 \text{ d} \quad h$ $Q = 1.393 \text{ d} \quad h$ $Hf = 0.00124 \text{ L} \quad V$ d

ANEXO 15-A



PERDIDA DE CARGA EN m/Km.



PERDIDA DE CARGA EN m/km

PERDIDAS DE CARGA EN CODOS

ΔP = Pérdida de carga en m.

K = Coeficiente numérico.

V = Velocidad del agua en m/seg.

G = Aceleración de la gravedad = 9.81 m/seg.²

D = Diámetro interior de la conducción en m.

R = Radio de Curvatura del eje del codo en m.

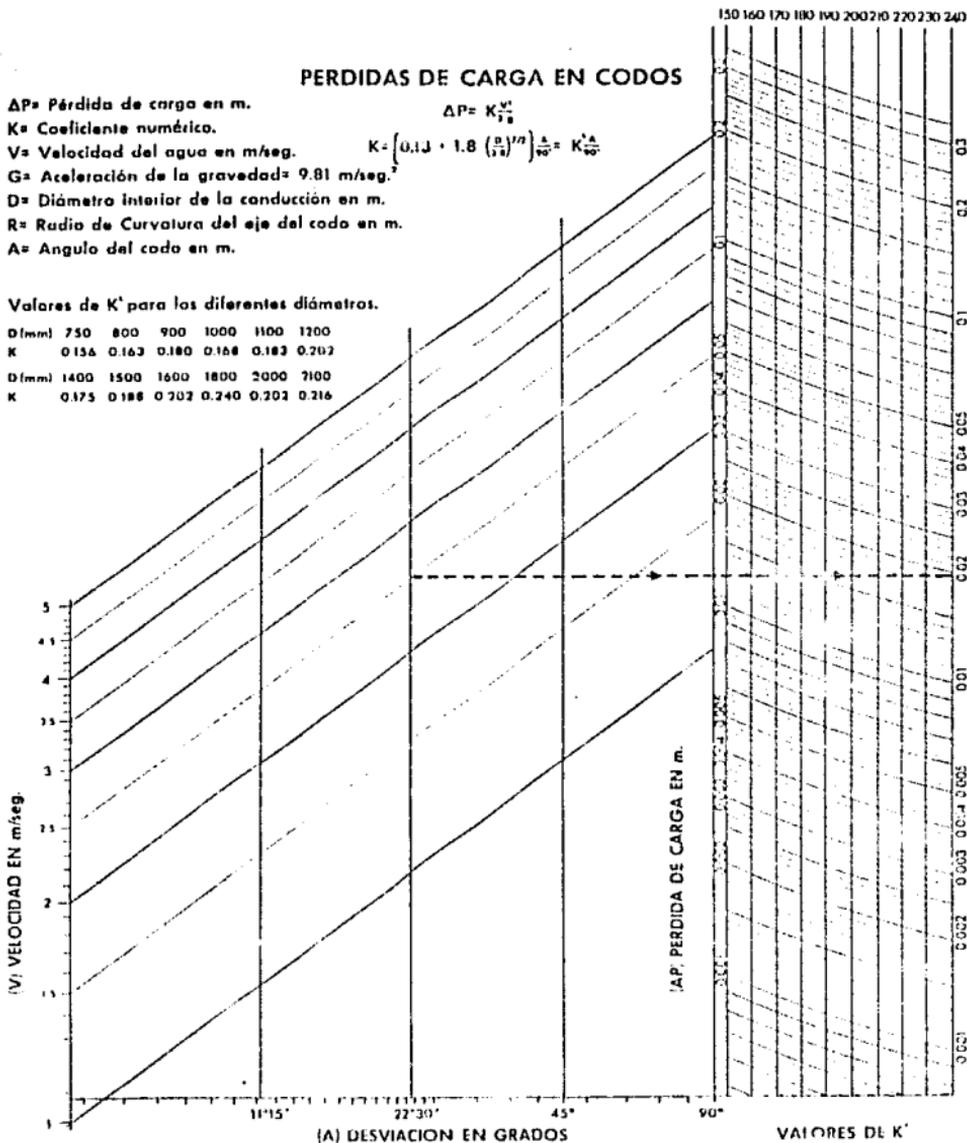
A = Angulo del codo en m.

$$\Delta P = K \frac{V^2}{2g}$$

$$K = \left(0.1J + 1.8 \left(\frac{D}{R} \right)^{1/2} \right) \frac{A}{90} = K' \frac{A}{90}$$

Valores de K' para los diferentes diámetros.

D (mm)	750	800	900	1000	1100	1200
K	0.154	0.163	0.180	0.188	0.183	0.202
D (mm)	1400	1500	1600	1800	2000	2100
K	0.175	0.186	0.202	0.240	0.202	0.216



ANEXO 16

VALORES DE K PARA PERDIDA DE CARGA DEBIDA
A LAS UNIONES

FORMA DE UNION	RELACION DE GASTOS	x_d	k_g
	$q = 0/3$ $q = 0/2$ $q = 20/3$ $q = 0$	 0.25 0.40 0.50 ---	 0.05 0.30 0.55 0.90
	$q = 0/3$ $q = 0/2$ $q = 20/3$ $q = 0$	 0.06 0.01 0.12 ---	 0.90 0.92 1.00 1.30
	$q = 0/3$ $q = 0/2$ $q = 20/3$ $q = 0$	 0.10 0.11 0.04 ---	 --- 0.11 0.26 0.38
	$q = 0/3$ $q = 0/2$ $q = 20/3$ $q = 0$	 --- 0.02 0.12 ---	 0.55 0.45 0.32 0.40

A N E X O 16-B

$\frac{D}{A}$ B	1.15	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00
6°	0.01	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
8°	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
10°	0.03	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08
15°	0.06	0.10	0.13	0.15	0.16	0.16	0.16
20°	0.13	0.17	0.24	0.28	0.29	0.30	0.31
30°	0.20	0.25	0.39	0.44	0.46	0.48	0.48
40°	0.25	0.35	0.47	0.53	0.56	0.58	0.59
60°	0.30	0.35	0.57	0.64	0.68	0.70	0.71

A N E X O 16-A

$\frac{D}{A}$ B	1.15	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50
10°	0.007	0.010	0.012	0.013	0.015	0.018
20°	0.015	0.020	0.025	0.030	0.032	0.035
30°	0.020	0.030	0.040	0.050	0.050	0.055
40°	0.030	0.040	0.060	0.065	0.070	0.075
60°	0.050	0.070	0.090	0.100	0.100	0.110
90°	0.090	0.110	0.150	0.170	0.180	0.180
120°	0.140	0.180	0.280	0.260	0.270	0.280

ANEXO 17

PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS (EN METROS DE CANALIZACION)

DIAMETRO		Codo 90° radio largo	Codo 90° radio medio	Codo 90° radio corto	Codo 45°	Curva 90° R/D= 1 1/2	Curva 90°	Curva 45°	Entrada normal	Entrada de borde	Registro de paveta abierto	Registro de globo abierto	Valvula de ángulo abierto	Tee de paso directo	Tee salida de lado	Tee salida ilatera	Valvula de pie con colador	Salida de canali- zación	de retención	
D																			Tipo leve	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	0.5	2.6	0.3	1	1	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	0.7	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	0.9	4.6	0.1	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	1.1	5.6	0.7	2.3	2.3	10	0.9	2.7	4
39	1 1/2	0.9	1.1	1.3	0.6	0.5	0.7	0.3	0.5	1	0.3	1.3	6.7	0.9	2.8	2.8	11	1	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	1.7	8.5	1.1	3.5	3.5	14	1.5	4.2	6.4
63	2 1/2	1.3	1.7	2	0.9	0.8	1	0.5	0.9	1.9	0.4	2.1	10	1.3	4.3	4.3	17	1.9	5.2	8.1
75	3	1.6	2.1	2.5	1.2	1	1.3	0.6	1.1	2.2	0.5	2.6	13	1.6	5.2	5.2	20	2.2	6.3	9.7
100	4	2.1	2.8	3.4	1.5	1.3	1.6	0.7	1.4	3.2	0.7	3.4	17	2.1	6.7	6.7	23	3.2	8.4	12.9
125	5	2.7	3.7	4.5	1.9	1.6	2.1	0.9	2	4	0.9	4.3	21	2.7	9.4	9.4	30	4	10.4	16.1
150	6	3.4	4.3	4.9	2.3	1.9	2.5	1.1	2.5	5	1.1	5.1	26	3.4	10	10	39	5	12.5	19.3
200	8	4.3	5.5	6.4	3	2.4	3.3	1.9	3.5	6	1.4	6.7	34	4.3	13	13	52	6	16	25
250	10	5.9	6.7	7.9	3.8	3	4.1	2.8	4.5	7.5	1.7	8.5	43	5.5	16	16	65	7.5	20	32
300	12	6.1	7.9	9.9	4.6	3.6	4.8	2.2	5.5	9	2.1	10.2	51	6.1	19	19	78	9	24	38
350	14	7.3	9.5	10.5	5.3	4.4	5.4	2.3	6.2	11	2.4	12.0	61	7.3	22	22	90	11	28	45

ANEXO 18

PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS (PVC RIGIDO O COBRE)

DIAMETRO → EXTERNO	Codo 90°	Codo 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tee de paso directo	Tee salida de lado	Tee salida bilateral	Entrada normal	Entrada de borda	Salida de canali- zación	Válvula de pie con colador	Válv. de retenció		Válvula de globo abierta	Válvula de compuerta abierta	Válvula de de ángulo abierta
												Tipo leve abierto	Tipo pesado abierto			
mm																

20	1/2	11	0.4	0.4	0.2	0.7	2.3	2.3	0.3	0.9	0.6	8.1	2.6	3.6	11.1	0.1	5.9
26	3/4	12	0.5	0.5	0.3	0.9	2.4	2.4	0.4	1	0.9	9.5	2.7	4.1	11.4	0.2	6.1
32	1	15	0.7	0.6	0.4	0.9	3.1	3.1	0.5	1.2	1.3	13.2	3	6.8	15.9	0.3	8.4
40	1 1/4	20	1	0.7	0.5	1.5	4.8	4.6	0.6	1	1.4	16.6	4.9	7.4	22	0.4	10.5
50	1 1/2	22	1.3	1.2	0.6	2.2	7.3	7.3	1	2.3	3.2	18.3	6.8	9.1	34	0.7	17
60	2	34	1.5	1.3	0.7	2.3	7.6	7.6	1.5	2.6	3.3	22.7	7.1	10.5	37.6	0.8	18.5
76	2 1/2	37	1.7	1.4	0.8	2.4	7.8	7.8	1.6	3.1	3.6	26	8.2	12.5	38	0.9	19
85	3	39	1.8	1.5	0.9	2.5	8	8	2	3.7	3.7	26.6	9.2	14.2	40	0.9	20
110	4	43	1	1.6	1	2.6	8.7	8.3	2.2	4	3.9	36.6	10.4	16.6	47.3	1	22.1
140	5	49	2.4	1.9	1.1	2.8	10	10	2.5	5	4.9	37.4	10.5	18.2	52.9	1.1	26.2
180	6	54	2.6	2.1	1.2	3	11.1	11.1	2.8	5.6	5.6	43.4	10.9	21.4	56.7	1.2	28.9

ANEXO 19

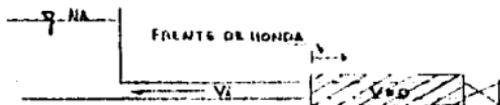
**NO. DE DIAMETROS RECOMENDADOS PARA EL
METODO DE LAS LONGITUDES EQUIVALENTES**

P I E Z A	NO. DE DIAMETROS
Aplicación gradual	12
Codo de 90	45
Curva de 90	30
Codo de 45	20
Curva de 45	15
Entrada normal	17
Entrada de borda	35
Union	30
Reducción gradual	6
Válvula de compuerta abierta	8
Válvula de globo abierta	350
Válvula de ángulo abierta	170
Salida de tubería	35
Te, paso directo	20
Te, salida bilateral	65
Válvula de pie con colador	250
Válvula de retención	100

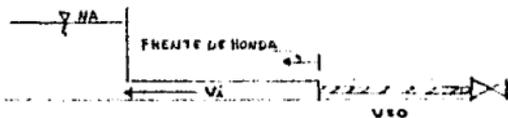
ANEXO 20-A



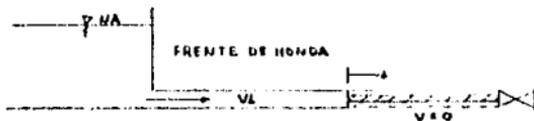
ANEXO 20-B



ANEXO 20-C



ANEXO 20-D



ANEXO 21

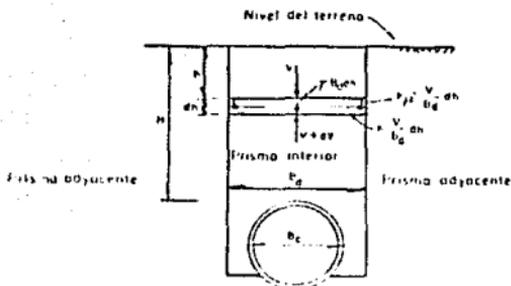


Diagrama de cuerpo libre del prisma de suelo que contiene una tubería subterránea

V = Presión vertical, por unidad de longitud, en cualquier plano horizontal del relleno.

γ = Peso unitario del relleno.

B_c = Ancho horizontal (diámetro exterior en tuberías circulares).

B_d = Ancho horizontal de la trinchera, medida en la parte superior (clave superior) del conducto.

H = Altura del relleno a partir de la clave superior.

h = Distancia desde la superficie del terreno hasta cualquier plano horizontal del relleno.

μ = $\tan \phi$, coeficiente de fricción interna del relleno.

μ' = $\tan \phi'$, coeficiente de fricción entre el relleno y la zanja.

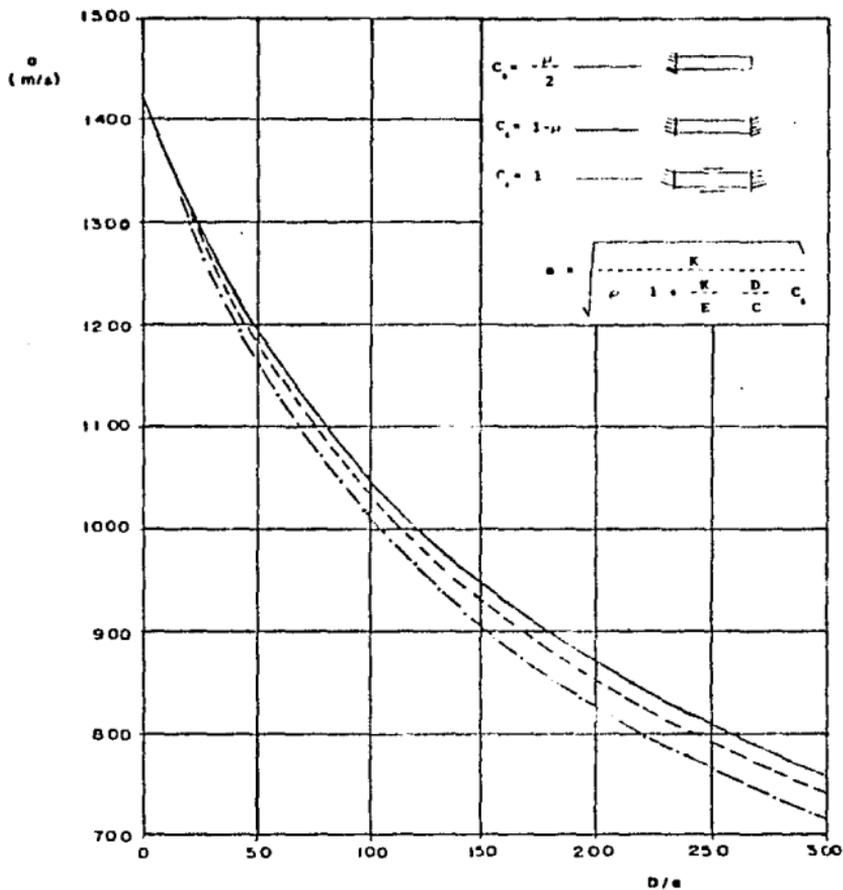
ANEXO 21 - A

Material	Mód. de elasticidad E, en kg/m ²	Relación de poisson μ .
Mezcla de aluminio	7.19 x 10 ⁹	0.33
Asbesto cemento	2.45 x 10 ⁹	
Bronce	9.59 x 10 ⁹	0.36
Fierro fundido	1.28 x 10 ¹⁰	0.25
Concreto	2.24 x 10 ⁹	0.13
Cobre	1.21 x 10 ¹⁰	0.34
Vidrio	6.07 x 10 ⁹	0.24
Plomo	1.11 x 10 ⁹	0.44
Acero dulce o suave	2.1 x 10 ¹⁰	0.27
PLASTICOS		
ABS	1.73 x 10 ⁸	0.33
Nylon	2.12 x 10 ⁸	
Perspex	6.12 x 10 ⁸	0.33
Polietileno	8.16 x 10 ⁷	0.46
Poliestireno	5.10 x 10 ⁸	0.40
PVC rígido	2.63 x 10 ⁸	
ROCAS		
Granito	5.10 x 10 ⁹	0.28
Caliza	5.16 x 10 ⁹	0.21
Cuarzita	3.51 x 10 ⁹	
Arenisca	3.85 x 10 ⁸	0.28
Esquistos	1.28 x 10 ⁹	

A N E X O 21 - B

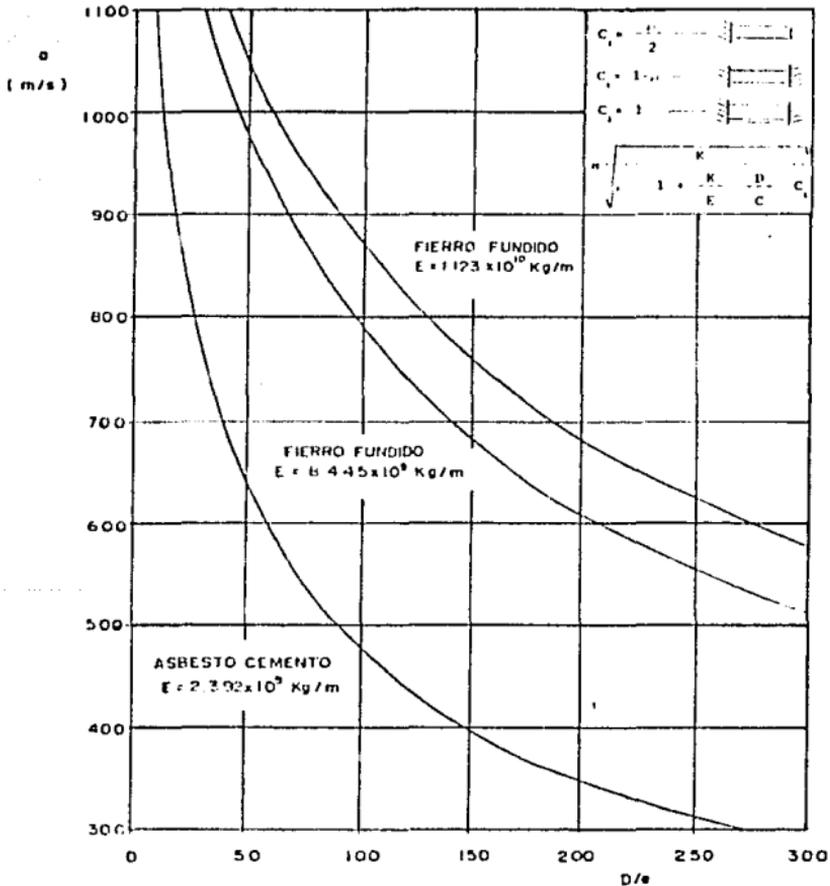
Líquido	Temperatura	Densidad, en kg - seg ³ /m	Módulo volumétrico de elasticidad, K, en kg/m
Benceno	15	89.8	1.07×10^8
Alcohol	0	80.6	1.35×10^8
Glicerina	15	128.6	4.52×10^8
Keroseno	20	82.0	1.35×10^8
Mercurio	20	1384.7	2.67×10^9
Aceite	15	91.8	1.53×10^8
Agua	20	101.9	2.23×10^8
Agua sal.	15	104.6	2.32×10^8

Modulo volumetrico de elasticidad y densidad de líquidos comunes a la presión atmosférica.



Celeridad de la onda de presión en tubos de acero

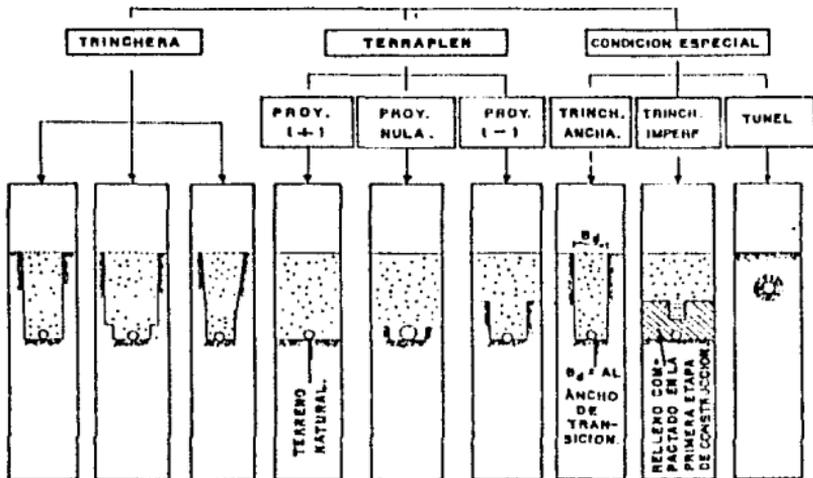
ANEXO 21-D



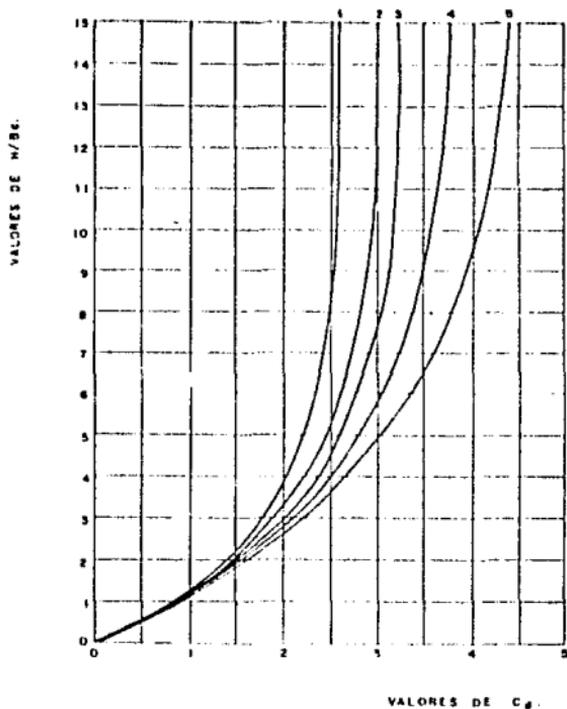
Celeridad de la onda de presión en tubos de hierro fundido y de asbesto-cemento.

ANEXO 22

CLASIFICACION DE TUBERIAS SUBTERRANERAS.



ANEXO 23

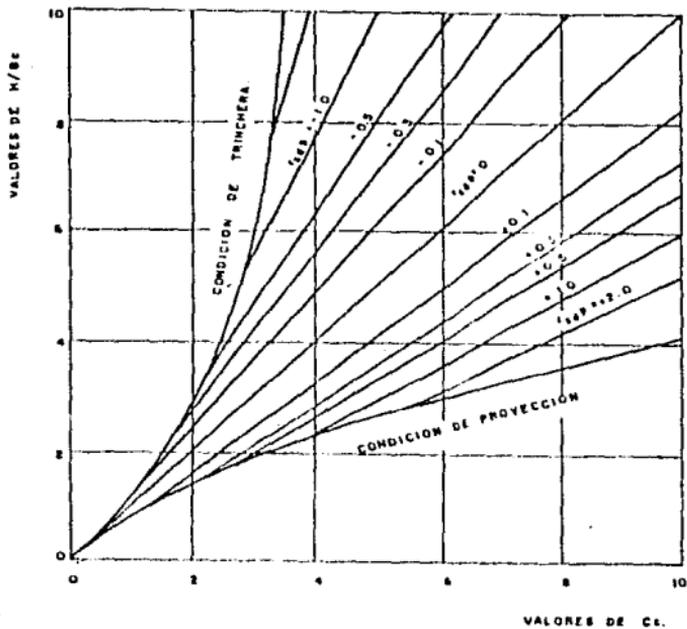


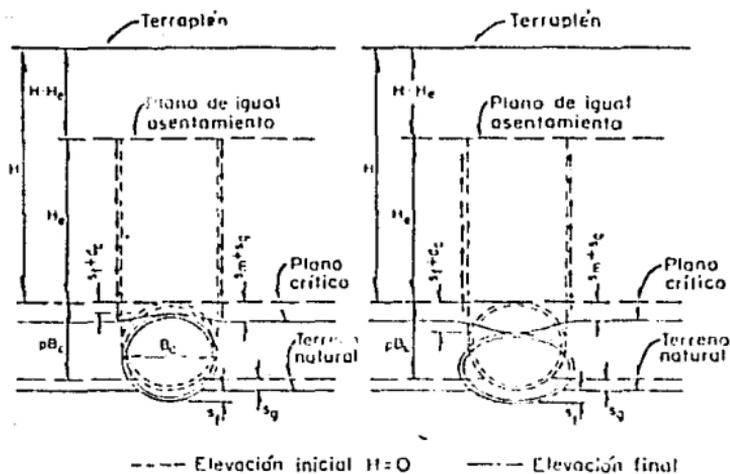
- 1 MANTOS DE GRANULARES SIN COHESION
- 2 ARENA Y GRAVA
- 3 SUELO VEGETAL SATURADO
- 4 ARCILLA
- 5 ARCILLA SATURADA

CURVAS PARA CALCULAR AL COEFICIENTE C_d

ANEXO 24

CURVAS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE C_c .





CONDICIONES DE ASENTAMIENTO EN TUBERIAS CON TERRAPLEN.

ANEXO 26

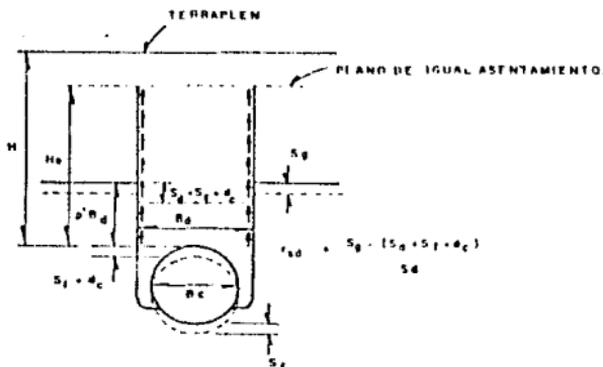
VALORES EMPIRICOS DE LA RELACION DE ASENTAMIENTOS r_{sd}

Condición de instalación y del suelo de cimentación	RELACION DE ASENTAMIENTOS r_{sd}	
	Rango usual	Valor de diseño
- Proyección positiva ; Roca o suelo firme	0 a 1.0 + 1.0	+ 1.0
Suelo normal	+0.5 a + 0.8	+ 0.7
Suelo flexible	0 a + 0.5	+ 0.3
- Proyección nula		0.0
- Proyección negativa P = 0.5	- 1.0 a 0	- 0.1
P = 1.0		- 0.3
P = 1.5		- 0.5
P = 2.0		- 1.0
- Trinchera imperfecta P = 0.5	- 2.0 a 0	- 0.5
P = 1.0		- 0.7
P = 1.5		- 1.0
P = 2.0		- 2.0

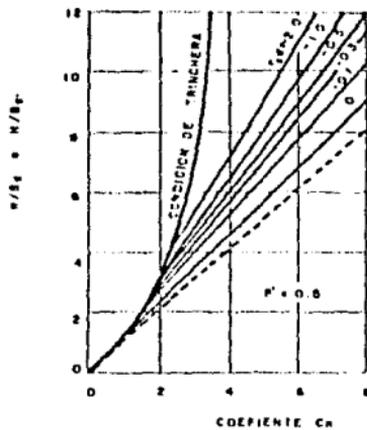
* Las tuberías flexibles se diseñan generalmente para $r_{sd} = 0$

ANEXO 27

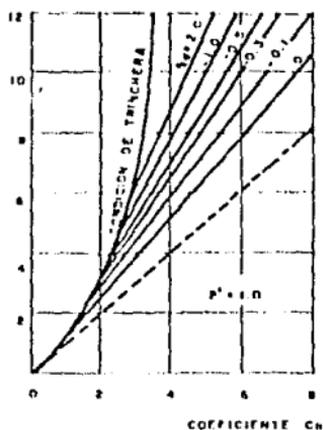
CONDUCTO CON PROYECCION NEGATIVA.



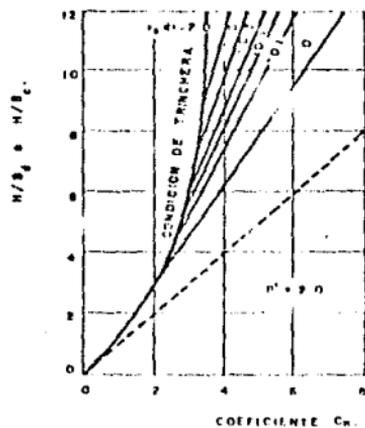
ANEXO 28



(A)



(B)

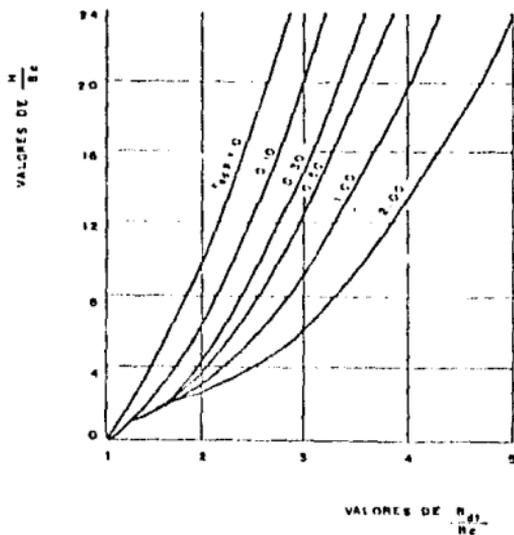


(C)

CURVAS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE C_n
 EN CONDUCTOS CON PROYECCION NEGATIVA Y
 TRINCHERAS IMPERFECTAS

ANEXO 29

CURVAS PARA ANCHOS DE TRANSICION.



ANEXO 30

VALORES DE LA COHESION PARA DISTINTOS SUELOS

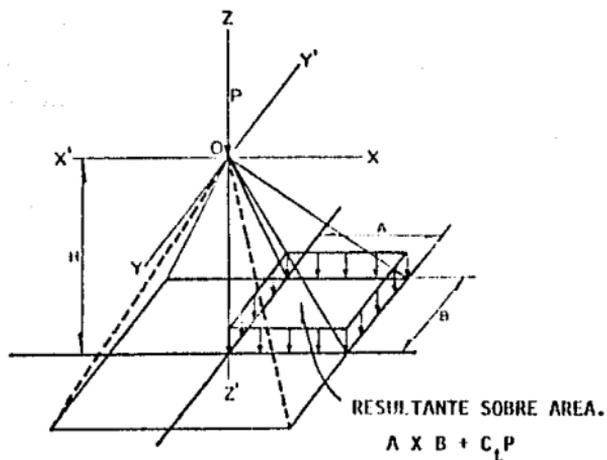
M A T E R I A L	C O H E S I O N (T O N / m ²)
Arcilla suave	0.20
Arcilla media	1.24
Arcilla dura	4.90
Arena suelta	0.00
Arena fina	0.50
Arena densa	1.50
Suelo vegetal saturado	0.50

ANEXO 30.

VALORES DE LA CONSTANTE DE APOYO.

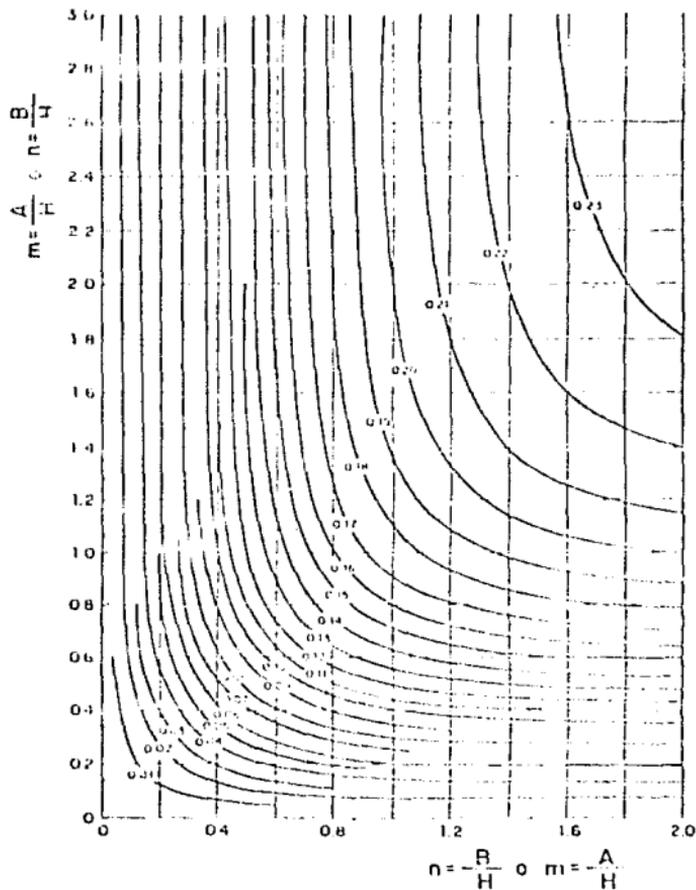
ANGULO DE ENTERRAMIENTO - A (GRADOS)	CONSTANTE DE APOYO K.
0	0.110
15	0.108
22.5	0.105
30	0.102
45	0.096
60	0.090
90	0.083

ANEXO 31



PRESTIONES DEBIDAS A UNA CARGA CONCENTRADA
EN LA SUPERFICIE.

ANEXO 32



ANEXO 33

COEFICIENTE DE INFLUENCIA PARA AREAS RECTANGULARES

m o n o A/H o B/H	n B/H o m A/H																
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.5	2	2.5	3	5	10
0.1	0.005	0.009	0.013	0.017	0.020	0.022	0.024	0.026	0.027	0.028	0.029	0.030	0.031	0.031	0.032	0.032	0.032
0.2	0.009	0.018	0.026	0.033	0.039	0.043	0.047	0.050	0.053	0.055	0.057	0.059	0.061	0.062	0.062	0.062	0.062
0.3	0.013	0.026	0.037	0.047	0.056	0.063	0.069	0.073	0.077	0.079	0.083	0.086	0.089	0.090	0.090	0.090	0.090
0.4	0.017	0.033	0.047	0.060	0.071	0.080	0.087	0.093	0.098	0.101	0.106	0.110	0.113	0.115	0.115	0.115	0.115
0.5	0.020	0.039	0.056	0.071	0.084	0.095	0.103	0.110	0.116	0.120	0.126	0.131	0.135	0.137	0.137	0.137	0.137
0.6	0.022	0.043	0.063	0.080	0.095	0.107	0.117	0.125	0.131	0.136	0.143	0.149	0.153	0.155	0.156	0.156	0.156
0.7	0.024	0.047	0.069	0.087	0.103	0.117	0.128	0.137	0.144	0.149	0.157	0.164	0.169	0.170	0.171	0.172	0.172
0.8	0.026	0.051	0.073	0.093	0.110	0.125	0.137	0.146	0.154	0.160	0.168	0.176	0.181	0.183	0.184	0.185	0.185
0.9	0.027	0.053	0.077	0.098	0.116	0.131	0.144	0.154	0.162	0.168	0.178	0.186	0.192	0.194	0.195	0.196	0.196
1.0	0.028	0.055	0.079	0.101	0.120	0.136	0.149	0.160	0.168	0.175	0.185	0.193	0.200	0.202	0.203	0.204	0.205
1.2	0.029	0.057	0.083	0.106	0.126	0.143	0.157	0.168	0.178	0.185	0.196	0.205	0.212	0.215	0.216	0.217	0.218
1.5	0.030	0.059	0.086	0.110	0.131	0.149	0.164	0.176	0.186	0.193	0.205	0.215	0.223	0.226	0.228	0.229	0.230
2.0	0.031	0.061	0.089	0.113	0.135	0.153	0.169	0.181	0.192	0.200	0.212	0.223	0.232	0.236	0.238	0.239	0.240
2.5	0.031	0.062	0.090	0.115	0.137	0.155	0.170	0.183	0.194	0.207	0.215	0.226	0.236	0.240	0.242	0.244	0.244
3.0	0.032	0.062	0.090	0.115	0.137	0.156	0.171	0.184	0.195	0.203	0.216	0.228	0.238	0.242	0.244	0.246	0.247
5	0.032	0.062	0.090	0.115	0.137	0.156	0.172	0.185	0.196	0.204	0.217	0.229	0.239	0.244	0.246	0.249	0.249
10	0.032	0.062	0.090	0.115	0.137	0.156	0.172	0.185	0.196	0.205	0.218	0.230	0.240	0.244	0.247	0.249	0.250
	0.032	0.062	0.090	0.115	0.137	0.156	0.172	0.185	0.196	0.205	0.218	0.230	0.240	0.244	0.247	0.249	0.250

ANEXO 34

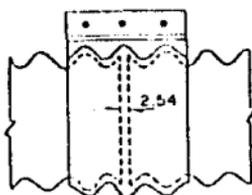
COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA

MATERIAL	α_a ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$)	α_a ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
METALES		
Aluminio	12.80	23.04
Cobre	9.30	16.74
Hierro forjado	6.70	12.06
Plomo	15.90	28.62
Manganeso	12.00	21.60
Niquel	7.00	12.60
Acero templado	6.50	11.70
Acero inoxidable	9.90	17.82
Zinc	17.30	31.14
CONCRETO		
Concreto comun	5.50	9.90
Concreto con cemento Portland hidratado	5.9 - 9.9	10.62 - 16.20
MAPOSTERIAS		
De ladrillos, tejas, tabiques, etc.	3.3 - 4.0	5.94 - 7.20
MINERALES		
Granito	4.40	7.92
Caliza	4.20	7.56
Arenisca	5.40	9.72
Esfilita	4.40	7.92
MADERAS		
Abeto	2.70	3.78
Alce	3.60	6.48
Roble	2.70	4.86
Pino	3.00	5.40

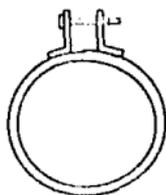
ANEXO 35

ESFUERZOS PERMISIBLES EN TUBERIAS DE ACERO

Designación ASTM	Resistencia a la ruptura, Ft, en tensión Kg/cm ²	Resistencia de fluencia, Fy Kg/cm ²	Condición normal	Condición intermitente	Condición de emergencia	Condición excepcional
A515-Grado 60	4420	2250	0.625 Fy	0.8 Fy	Fy	Ft
A516-Grado 60	4420	2250	0.625 Fy	0.8 Fy	Fy	Ft
A537-Grado A hasta 3.18 cm de espesor	4930	3520	0.47 Fy	0.62 Fy	0.93 Fy	Ft
A537-Grado A espesor mayor que 3.18 cm	4580	3240	0.47 Fy	0.63 Fy	0.94 Fy	Ft
A517	8100	7040	0.38 Fy	0.51 Fy	0.77 Fy	Ft

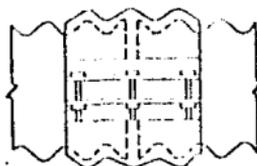


Vista lateral

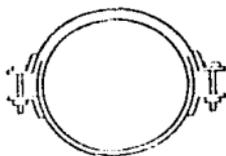


Vista de punta

Tipo estándar

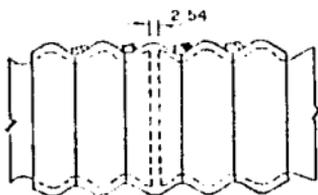


Vista lateral

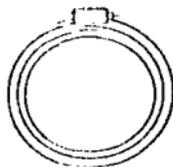


Vista de punta

Tipo de dos piezas



Vista lateral

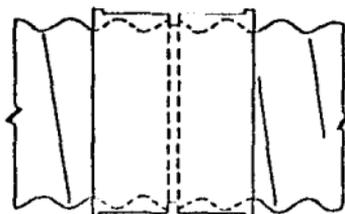


Vista de punta

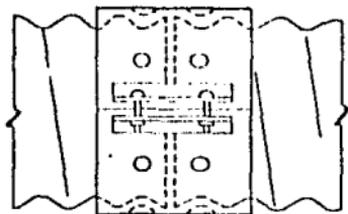
Tipo de varilla y tuerca

Acolaciones, en cm

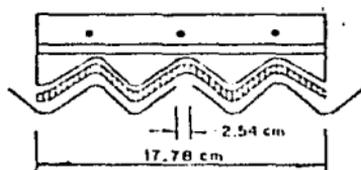
TIPOS DE UNIONES CON BANDA CORRUGADA.



Conexión lisa



Conexión con banda agujereada



Empaquetado de neopreno

Tipos de uniones con anillo de acero liso y especiales

ANEXO 38

REQUISITOS QUE DEBEN SATISFACER LOS TUBOS DE RESISTENCIA NORMAL
(TIPO I)

Diametro interior del tubo (cm)	PARED "A" f'c = 280 kg / cm ²					PARED "B" f'c = 280 kg / cm ²					PARED "C" f'c = 280 kg / cm ²					Resistencia a la compresión. Método de los tres apoyos, carga mínima en kg por metro lineal para producir Grieta de 0.25 mm	Absorción % maximo
	Espesor de la pared (cm)	Refuerzo de acero, en centímetros cuadrados/metro lineal			Espesor de la pared (cm)	Refuerzo de acero, en centímetros cuadrados/metro lineal			Espesor de la pared (cm)	Refuerzo de acero, en centímetros cuadrados/metro lineal							
		Línea interior	Línea exterior	Elíptico en tubo circular		Línea interior	Línea exterior	Elíptico en tubo circular		Línea interior	Línea exterior	Elíptico en tubo circular					
30	4.50	1.48			5.10	1.48								1,165	2,200	8.0	
38	4.80	1.48			5.70	1.48								1,855	2,780	8.0	
45	5.10	1.48		1.48	6.30	1.48		1.48						2,200	3,295	8.0	
60	6.40	2.75		2.33	7.60	1.48		1.48						2,980	4,470	8.0	
76	7.00	3.17		2.98	8.90	2.54		2.54						3,710	5,563	8.0	
91	7.60	2.95	2.12	3.17	10.20	2.96	1.90	2.75	12.10	1.48	1.48	1.69	4,445	6,655	8.0		
107	8.90	3.39	2.54	3.91	11.40	3.17	2.54	3.00	13.30	2.12	1.69	2.33	5,225	7,835	8.0		
122	10.20	4.44	3.39	4.87	12.70	3.81	2.96	4.23	14.60	2.96	2.33	3.17	5,960	8,935	8.0		
152	12.70	6.35	4.65	6.98	15.20	5.29	4.02	5.92	17.20	4.65	3.60	5.08	7,420	11,130	8.0		
183	15.20	8.57	6.35	9.52	17.80	7.42	5.56	8.25	19.70	6.33	4.87	6.98	8,935	13,400	8.0		
213	17.80	10.79	8.25	12.06	20.30	9.73	7.19	10.79	22.20	8.67	6.56	9.73	10,400	15,600	8.0		
244	20.30	13.12	9.94	14.60	22.90	12.06	9.10	13.30	24.80	11.60	8.67	12.91	11,915	17,870	8.0		
f'c = 350 kg / cm ²																	
274	22.90	17.98	13.54	Int. cir. 6.56	25.40	16.08	12.06	Int. cir. 5.71	27.30	14.81	11.21	Int. cir. 5.29	13,380	20,063	8.0		
				Elíptico 13.54				Elíptico 13.54				Elíptico 11.21					

ANEXO 39

REQUISITOS QUE DEBEN SATISFACER LOS TUBOS DE RESISTENCIA EXTRA
(TIPO II)

Diámetro interior del tubo (cm)	PARED "A" f'c = 280 kg / cm ²				PARED "B" f'c = 280 kg / cm ²				PARED "C" f'c = 280 kg / cm ²				Resistencia a la compresión. Método de los tres apoyos, carga mínima en kg por metro lineal para producir Grieta de 0,25 mm		Absorción % maximo	
	Espesor de la pared (cm)	Refuerzo de acero, en centímetros cuadrados/metro lineal			Espesor de la pared (cm)	Refuerzo de acero, en centímetros cuadrados/metro lineal			Espesor de la pared (cm)	Refuerzo de acero, en centímetros cuadrados/metro lineal			Grieta de 0,25 mm	Ruptura		
		Línea interior	Línea exterior	Elíptico en tubo circular		Línea interior	Línea exterior	Elíptico en tubo circular		Línea interior	Línea exterior	Elíptico en tubo circular				
30	4.50	1.48			5.10	1.48							1,980	2,930	8.0	
38	6.80	1.48			5.70	1.48							2,555	3,710	8.0	
45	5.10	1.48		1.48	6.30	1.48		1.48					2,955	4,395	8.0	
60	6.40	3.50		2.96	7.60	1.48		1.48					4,020	5,955	8.0	
75	7.00	4.20		3.81	8.90	3.81		3.17					5,010	7,420	8.0	
91	7.50	4.44	3.39	4.87	10.20	3.60	2.75	4.02	12.10	1.69	1.48	1.90	6,000	8,885	8.0	
107	8.90	5.29	4.02	5.92	11.40	4.44	3.39	4.87	13.30	2.54	1.90	2.75	7,055	10,450	8.0	
122	10.20	5.78	5.08	7.40	12.70	5.06	3.81	5.71	14.60	3.39	2.54	3.81	8,045	11,910	8.0	
152	12.70	9.31	6.98	10.37	15.20	7.19	5.50	8.04	17.20	5.29	4.02	5.92	10,020	14,840	8.0	
183	15.20	12.50	9.10	13.33	17.80	10.37	7.83	11.43	19.70	7.62	5.71	8.46	12,080	17,870	8.0	
213	17.80	15.23	11.43	16.93	20.30	13.54	10.15	15.02	22.20	10.58	8.04	11.85	14,040	20,800	8.0	
f'c = 350 kg / cm ²																
244	20.30	19.66	14.81	21.79	22.90	16.08	12.76	17.77	24.80	14.81	11.21		Int. cir. 5.29	16,080	23,825	8.0
												Elíptico 11,21				

ANEXO 40

REQUISITOS QUE DEBEN SATISFACER LOS TUBOS DE RESISTENCIA
(TIPO III)

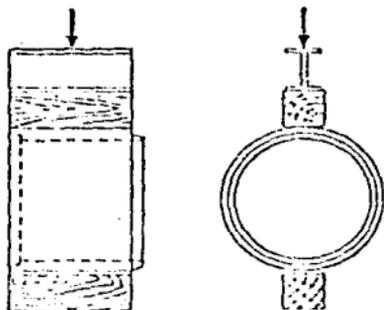
Diámetro interior del tubo (cm)	PARED "A" f'c = 280 kg / cm ²				PARED "B" f'c = 280 kg / cm ²				PARED "C" f'c = 280 kg / cm ²				Resistencia a la compresión. Método de los tres apoyos, carga mínima en kg por metro lineal para producir Grieta de Ruptura 0.25 mm		Absorción % maximo	
	Espesor de la pared (cm)	Refuerzo de acero, en centímetros cuadrados/metro lineal			Espesor de la pared (cm)	Refuerzo de acero, en centímetros cuadrados/metro lineal			Espesor de la pared (cm)	Refuerzo de acero, en centímetros cuadrados/metro lineal			kg por metro lineal	Ruptura		
		Línea interior	Línea exterior	Elíptico en tubo circular		Línea interior	Línea exterior	Elíptico en tubo circular		Línea interior	Línea exterior	Elíptico en tubo circular				
30	4.50	3.17			5.13	3.68								2,200	4,395	8.0
38	4.80	3.59			5.70	4.12								2,700	5,565	8.0
45	5.10	3.60		3.17	6.30	4.65		3.17						3,295	6,590	8.0
60	6.40	6.14		5.71	7.50	5.71		4.87	9.50	1.42	1.48	1.67		4,470	8,935	8.0
76	7.00	8.84		7.40	8.90	7.40		5.92	10.80	1.90	1.48	2.12		5,565	11,130	8.0
91					10.20	6.35	4.56	6.98	12.10	2.96	2.12	3.17		6,665	13,330	8.0
107					11.40	7.40	5.50	8.25	13.30	4.23	3.17	4.95		7,835	15,670	8.0
122					12.70	8.71	6.78	9.94	14.60	5.50	4.23	6.14		8,935	17,670	8.0
f'c = 350 kg / cm ²																
152					15.20	12.48	9.52	13.96	17.20	8.57	6.56	9.73		11,130	22,260	8.0
f'c = 350 kg / cm ²																
183					17.80	16.71	12.67	18.62	19.70	12.91	9.73	14.39		13,400	26,800	8.0
213									22.20	17.92	13.33	19.89		15,600	31,195	8.0

ANEXO 41

REQUISITOS QUE DEBEN SATISFACER LOS TUBOS DE MUY ALTA RESISTENCIA
(TIPO IV)

Diámetro interior del tubo (cm)	PARED "A" f'c = 420 kg / cm ²			PARED "B" f'c = 420 kg / cm ²			PARED "C" f'c = 420 kg / cm ²			Resistencia a la compresión. Método de los tres apoyos, carga mínima en kg por metro lineal para producir Grieta de Ruptura 0.25 mm		Absorción % máximo			
	Espesor de la pared (cm)	Refuerzo de acero, en centímetros cuadrados/metro lineal			Espesor de la pared (cm)	Refuerzo de acero, en centímetros cuadrados/metro lineal			Espesor de la pared (cm)	Refuerzo de acero, en centímetros cuadrados/metro lineal					
		Línea interior	Línea exterior	Elíptico en tubo circular		Línea interior	Línea exterior	Elíptico en tubo circular		Línea interior	Línea exterior		Elíptico en tubo circular		
30				5.10	2.12							4,395	5,490	8.0	
38				5.70	2.96							5,565	6,955	8.0	
45				5.30	4.00			3.39				6,590	8,240	8.0	
60				7.60	6.35			5.08	9.50	2.54	1.90	2.75	8,935	11,165	8.0
76				8.90	8.67	6.56			10.80	3.81	2.96	4.23	11,130	13,915	8.0
91				10.20	10.53	8.04			12.10	5.71	4.23	6.35	13,330	16,660	8.0
141				11.40	12.59	9.62			13.30	7.62	5.71	8.46	15,670	19,690	8.0
122				12.70	15.44	11.64			14.60	9.94	7.40	11.00	17,870	22,335	8.0
152									17.20	14.81	11.21	16.50	22,260	27,925	8.0
183									19.70	20.95	15.66	23.27	26,800	33,500	8.0

ANEXO 42



Prueba de los Tres Apoyos para un tubo de concreto

ANEXO 43

RESISTENCIA DE LOS TUBOS DE CONCRETO SIMPLE A LA
COMPRESION DIAMETRAL

DIAMETRO NOMINAL INTERIOR	RESISTENCIA MEDIA MINIMA PRUEBA DE LOS TRES APOYOS	
	m m	Kg / m
100	1490	14617
150	1640	16088
200	1940	19031
250	2080	20405
300	2230	21876
380	2600	25506
450	2970	29136
600	3570	35022

ANEXO 44

DIMENSIONES DE TUBOS DE CONCRETO SIMPLE

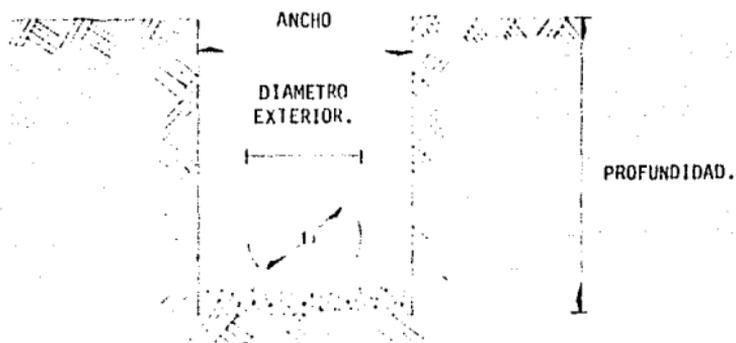
Díámetro Nominal (Interior) mm.	Longitud mm.	Díámetro Interior Locacampaña mm.	Profundidad de la campana mm.	Conicidad mín. de la campana mm.	Espesor de la pared mm.	Espesor de campana
D	L	D _i	L _h	H	I	t
100	1000	152	38	1 : 20	14	Debe ser de 45 mm. en el extremo y no menor de 3/4 del espesor de la pared del cuerpo del tubo
150	1000	210	51	1 : 20	16	
200	1000 a 1200	273	57	1 : 20	19	
250	1000 a 1200	330	64	1 : 20	22	
300	1000 a 1200	387	64	1 : 20	25	
380	1000 a 1200	476	64	1 : 20	32	
450	1000 a 1200	565	70	1 : 20	38	
600	1000 a 1200	750	76	1 : 20	54	

ANEXO 45

TOLERANCIAS EN LAS DIMENSIONES DE LOS TUBOS DE CONCRETO SIMPLE

Diámetro nominal (interior) mm	TOLERANCIAS EN LAS DIMENSIONES DE LOS TUBOS				
	Longitud mm	Diámetro interior del tubo o macho mm	Diámetro interior en boca de campana mm	Profundidad de la campana mm	espesor de la pared del tubo mm
100	+ 10,0	+ 5,0	+ 5,0	+ 3,0	+ 2,0
150	+ 10,0	+ 5,0	+ 5,0	+ 6,0	+ 2,0
200	+ 10,0	+ 6,0	+ 6,0	+ 6,0	+ 2,0
250	+ 10,0	+ 7,0	+ 7,0	+ 6,0	+ 2,0
300	+ 10,0	+ 8,0	+ 8,0	+ 6,0	+ 3,0
380	+ 10,0	+ 8,0	+ 8,0	+ 6,0	+ 3,0
450	+ 10,0	+ 8,0	+ 8,0	+ 6,0	+ 3,0
600	+ 10,0	+ 10,0	+ 8,0	+ 6,0	+ 5,0

ANEXO 45'



ZANJAS PARA TUBERIA DE ASBESTO-CEMENTO Y P.V.C.

DIAMETRO NOMINAL		Ancho (cm.)	Profundidad (cm)	Volúmen por metro lineal
milímetros	pulgadas			
25.4	1	50	70	0.35
50.8	2	55	70	0.39
63.5	2.5	60	100	0.60
76.2	3	60	100	0.60
101.6	4	60	100	0.60
152.4	6	70	110	0.77
203.2	8	75	115	0.86
254.0	10	80	120	0.96
304.8	12	85	125	1.06
355.6	14	90	130	1.17
406.4	16	100	140	1.40
508.0	20	120	150	1.80
609.6	24	130	165	2.15
762.0	30	150	185	2.78
914.4	36	170	220	3.74

RESISTENCIA DE TUBOS DE ASBESTO-CEMENTO A LA COMPRESION

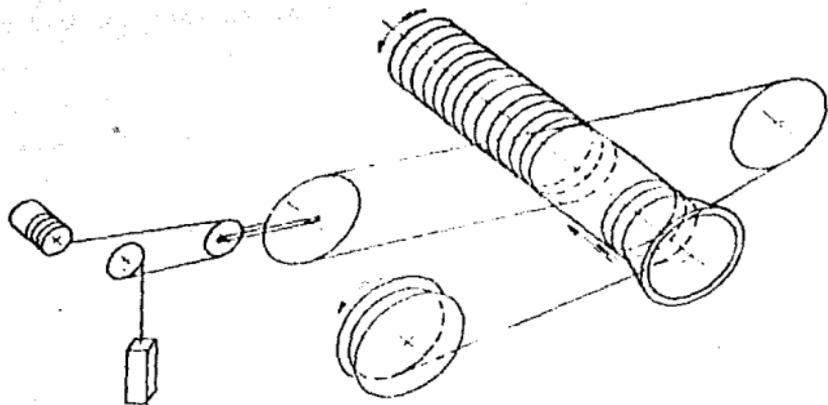
DIAMETRO NOMINAL mm	C L A S E			
	B - 6 Kg/m	B - 7.5 Kg/m	B - 9 Kg/m	B - 12 Kg/m
150			1,500	1,800
200		1,500	1,800	2,400
250	1,500	1,875	2,250	3,000
300	1,800	2,275	2,700	3,600
350	2,100	2,625	3,150	4,200
400	2,400	3,000	3,600	4,800
450	2,700	3,375	4,050	5,400
500	3,000	3,750	4,500	6,000
600	3,600	4,500	5,400	7,200
750	4,500	5,625	6,750	9,000
900	5,400	6,750	8,100	10,800
1,000	6,000	7,500	9,000	12,000

A N E X O 47.

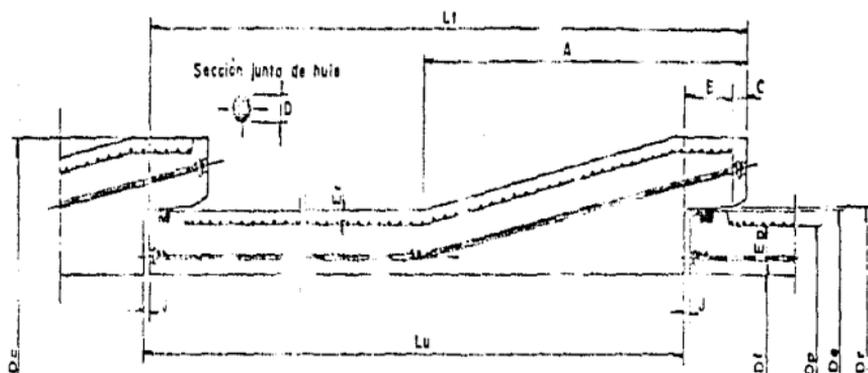
TOLERANCIAS EN LAS DIMENSIONES DE TUBOS DE ASBESTO-CEMENTO.

Diámetro nominal. mm	T O L E R A N C I A S .		
	Diámetro efectivo mm(-)	Espesor (1) mm	Longitud %
150	4.5	Hasta 25 mm	-0.6% de la - longitud nomi- nal.
200	5.0	+ 4 -2	
250	5.5		
300	6.0		
350	6.5	Mayores de 25	
400	7.0	mm	
450	7.5	+ 5 - 2.5	
500	8.0		
600	9.0		
750	10.5		
900	12.0		
1000	13.0		

NOTA (1): SE RECOMIENDA UN ESPESOR REAL MINIMO DE 8 mm.



PRETENSADO TRANSVERSAL POR ZUNCHADO
CON ALAMBRE DE 5 A 9 MM, SOMETIDO
A TENSION CONTROLADA.



CARACTERÍSTICAS DE LOS TUBOS COMECOP - DIÁMETROS DE 900 A 2500 mm.

Ø NOMINAL		TUBOS CENTRIFUGADOS								TUBOS COLADOS		
		900	1000	1200	1400	1500	1800	2100	2100	2300	2500	
Ø Int. real	Di	mm	920	1020	1220	1400	1520	1820	2100	2100	2300	2500
Espesor	Ep	mm	55	60	70	80	85	100	125	125	135	145
Ø Primario	Dp	mm	1030	1140	1360	1560	1690	2020	2350	2350	2570	2790
Ø Ext tubo	De	mm	1086	1196	1416	1616	1746	2076	2406	2406	2640	2858.7
Ø Enchufe	Dr	mm	1062.3	1202.3	1423.4	1623.4	1753.9	2084.6	2415.3	2417.5	2650.4	2868.6
Ø Campana	Dc	mm	1319	1429	1684	1878	2036	2389	2744	2744	3024	3244
Long. comp.	A	mm	817	817	933	935	1008	1086.5	1171.5	1171.5	1362	1362
Enchufe	B	mm	106	106	120	120	130	134	151	154	180	180
Entrada	C	mm	35	35	38	38	41	49.5	47	44	50	50
Long. total	Lt	mm	7131	7131	7148	7148	7161	7173.5	7188	5188	5210	5210
Long. util.	Lu	mm	7000	7000	7000	7000	7000	7000	5000	5000	5000	5000
Juego	J	mm	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20
Ø Junta	D	mm	22	22	24	24	26	29	30	30	38	38
Def. max. Ø	Øc	"	1°40'	1°35'	1°25'	1°29'	1°15'	1°	1°	1°	0°50'	0°50'
Peso		Kg	5500	8100	8400	11000	13000	16000	22000	15000	18500	22000

SERIE REFORZADA

Ø Int. real	Di	mm	900	1000	1200	1380	1500	1800	-	-	-	-
Peso		Kg	6000	6600	9000	11700	13800	16900	-	-	-	-

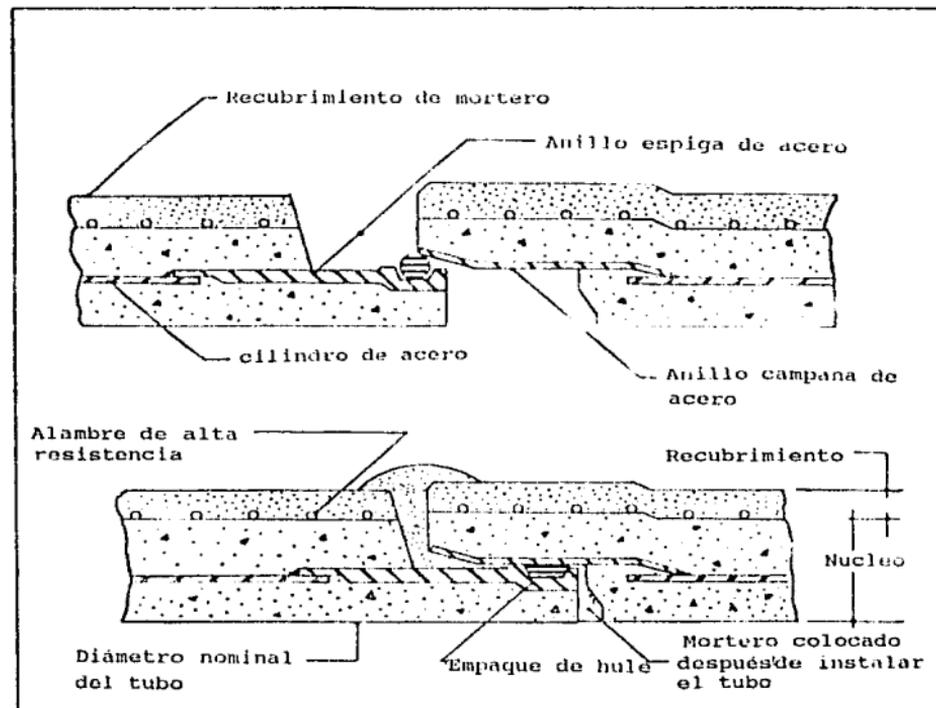
† Ángulo de flexión máxima posible para tubería en operación, valor que no debe de considerarse de diseño, ver página 29 del MANUAL DE INSTALACION (MC 1982)

Er: Revestimiento sobre el alambre de zunchado: ≥ 20 mm.

CARACTERISTICAS DE LOS TUBOS ICHSA SP-12

DIAMETRO NOMINAL		ESPELOR NOMINAL DEL NUCLEO		ESPELOR DEL RECURRIMIENTO		LONG APROX	CARGA (K ⁺ TRABAJO NOMIAL	PESO APROXIMADO	
PULG	CM.	PULG	CM.	PULG.	CM.	MTS	MTS.	TON/TUBO	TON/M.L

30"	76	2 1/4	5.7	13/16	2.1	4.88	DE 50 A 125	2.40	0.49
36"	91	2 1/4	5.7	13/16	2.1	4.88	DE 50 A 125	2.89	0.59
42"	107	2 5/8	6.7	13/16	2.1	4.88	DE 50 A 125	3.70	0.76
48"	122	3	7.6	13/16	2.1	4.88	DE 50 A 125	4.75	0.98
54"	137	3 3/8	8.6	13/16	2.1	4.88	DE 50 A 125	6.00	1.40
60"	152	3 3/4	9.5	13/16	2.1	4.88	DE 50 A 125	8.50	1.70
72"	183	4 1/2	11.4	13/16	2.1	4.88	DE 50 A 125	12.55	2.53
84"	213	6 1/2	16.5	13/16	2.1	4.88	DE 50 A 125	15.60	3.20
99"	251	6 1/4	15.8	13/16	2.1	4.88	DE 50 A 125	17.90	3.66
99"	251	6 1/4	15.8	13/16	2.1	7.32	DE 50 A 125	26.50	5.66



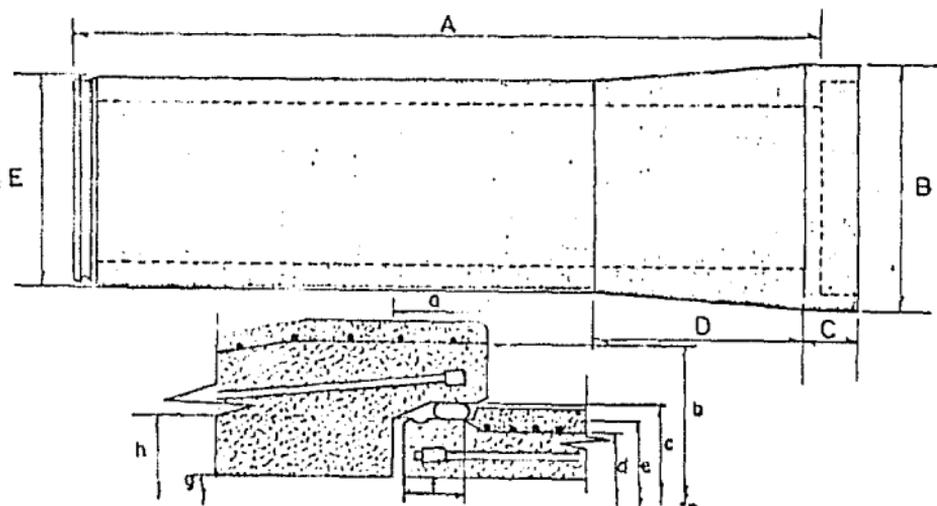
COMERCIAL	P REAL	A	B	C	D	E	a	b	c	d	e	f	g	h	X	JUNTA DETALLE		
																1	2	
ECV1	1000	1000	1115	1000	1000	1000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Pb 2	750	3000	1115	1117	720	900	145	655	881	650	95	87	750	859	3000	19	1 ^o -000	
91 4	900	500	1278	160	884	100	145	226	1066	1010	95	87	900	1042	3849	19	1 ^o -000	
111 7	1000	3000	1500	185	872	1282	165	448	1288	1281	105	99	1100	1260	3241	22	0 ^o -50	
121 9	1200	3000	1610	185	872	1392	165	558	1300	1340	105	99	1220	1370	3584	22	0 ^o -45	
131 1	1300	3000	1610	185	912	1501	165	750	1508	1530	105	99	1370	1560	7000	22	0 ^o -40	
152 2	1500	3000	1890	215	922	1732	190	1228	1738	1880	11	114	1624	1707	9176	25 4	0 ^o -40	
182 8	1800	3000	2321	230	1035	2062	190	2299	2063	2010	12	115	1830	2038	12344	25	0 ^o -50	

TABLA DE ESPECIFICACIONES GENERALES

PESO TOTAL DEL TUBO

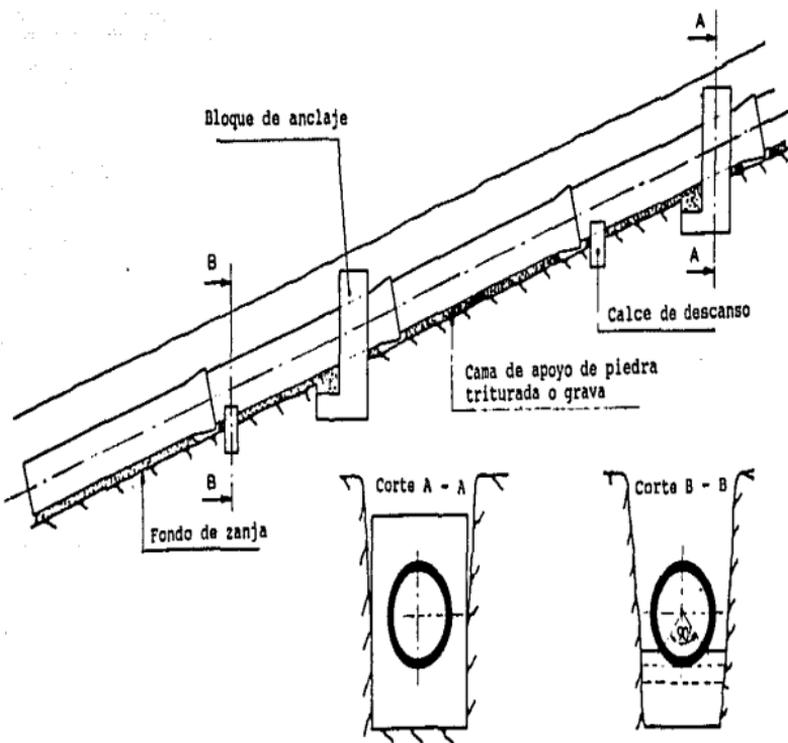
ESPESOR

DEFLEXION PERMITIDA



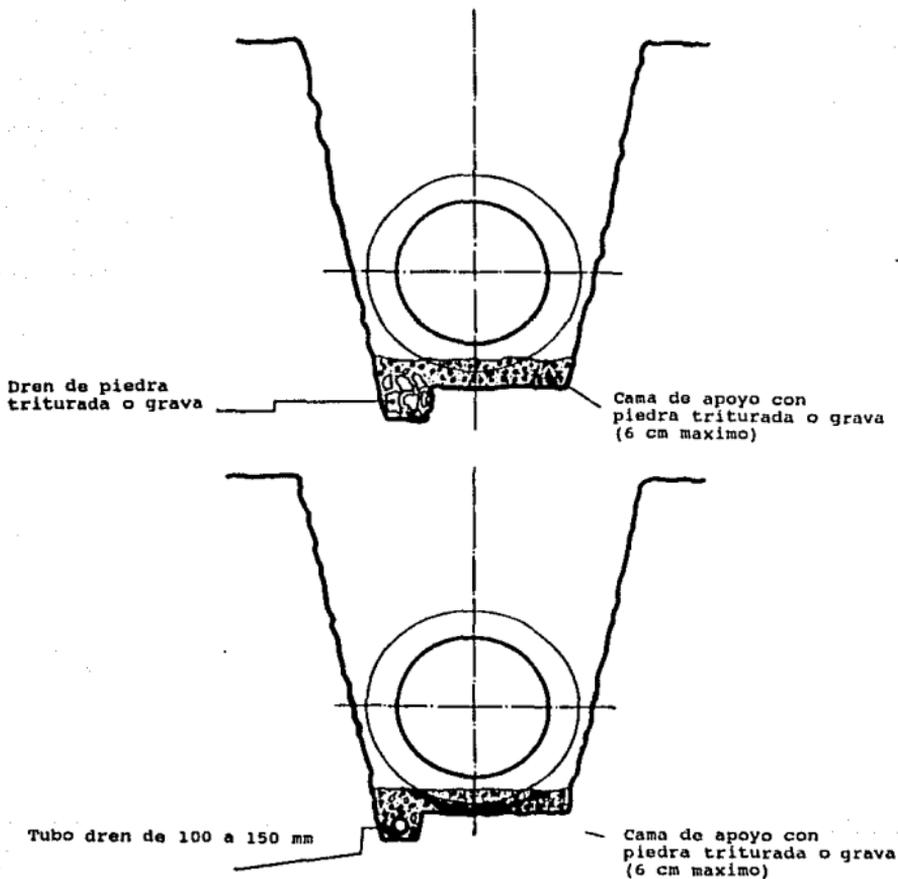
ANEXO 52

INSTALACION EN PENDIENTE



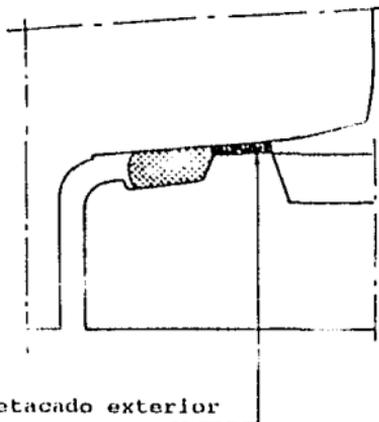
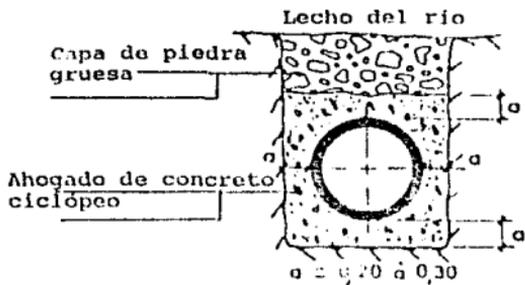
ANEXO 53

DRENES

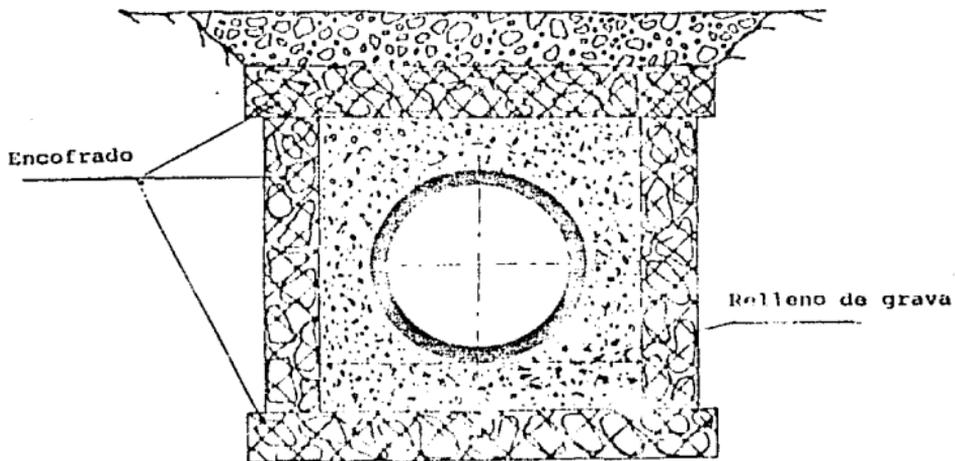


TUBOS SUMERGIDOS

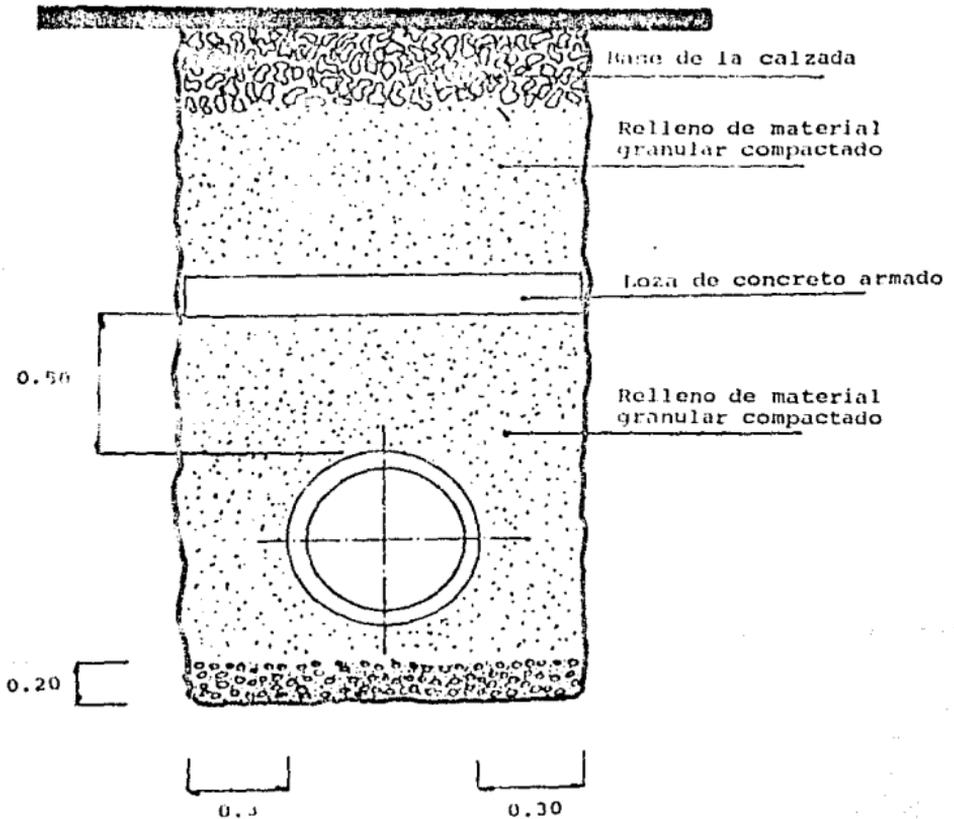
Terrano duro



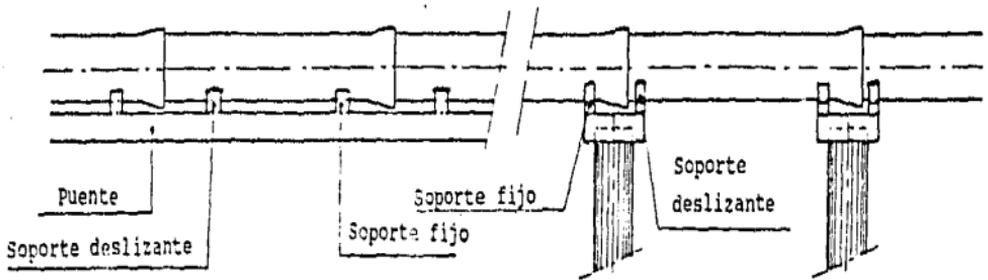
TERRENO SUCEPTIBLE DE MOVIMIENTO



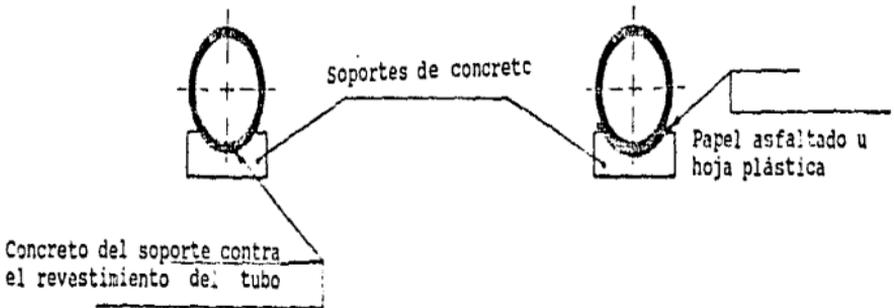
COLOCACION BAJO CAMINOS SECUNDARIOS.



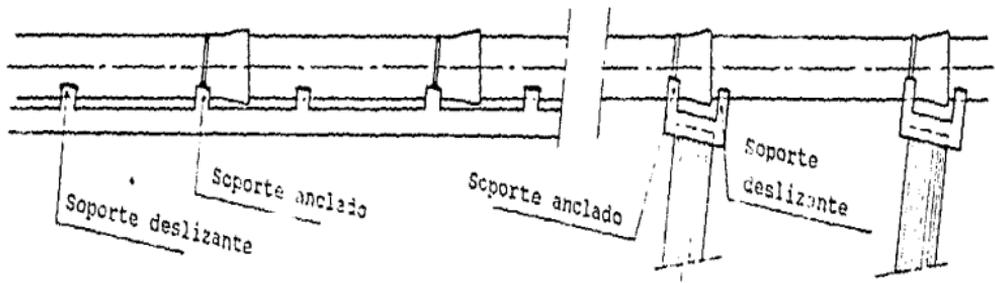
TUBOS AEREOS HORIZONTALES



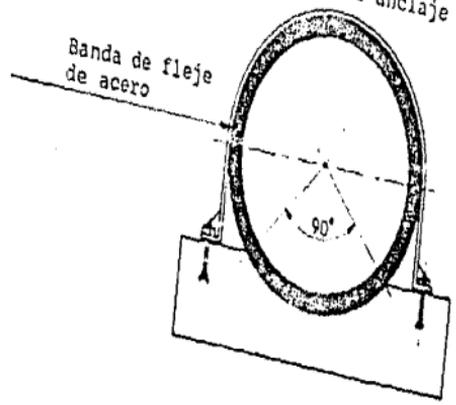
Soporte deslizante



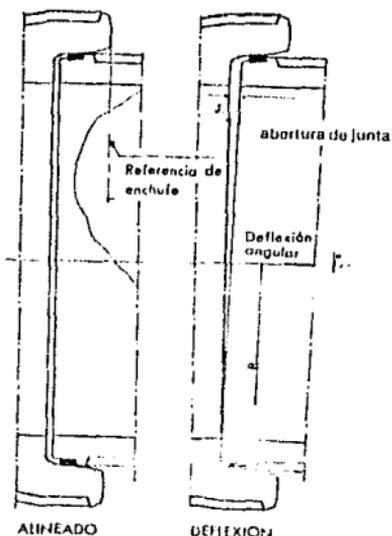
TUBOS AEREOS CON INCLINACION



Ejemplo de anclaje

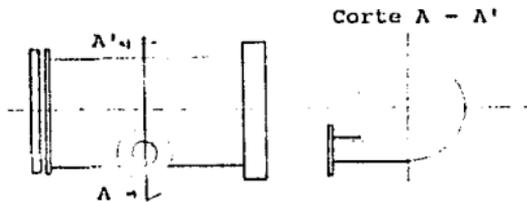


JUNTA COMECOP

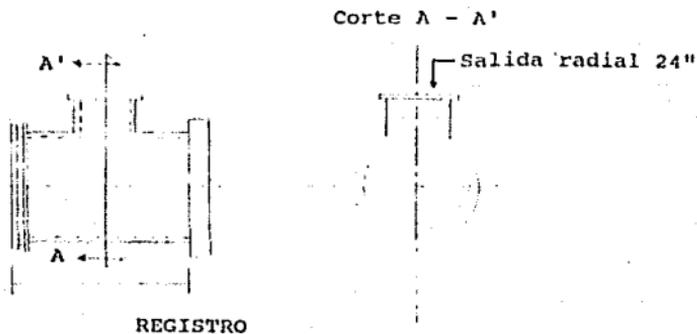


SEPARACION MAXIMA Y MINIMA PARA TUBERIA DE CONCRETO
PREFORZADO DE JUNTA RODANTE TIPO TEPBA

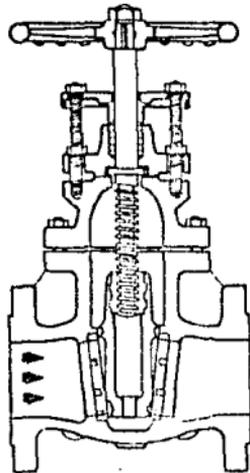
Diametro en mm.	Separación mínima recomendable en mm.	Separación máxima recomendable en mm.	Deflexión máxima recomendable.
750	6 (1/4")	22 (7/8")	1°00'
900	6 (1/4")	22 (7/8")	1°00'
1220	8 (5/16")	25 (1")	0°45'
1370	8 (5/16")	25 (1")	0°40'
1500	8 (5/6")	31 (1 1/4")	0°40'
1830	8 (5/6")	31 (1 1/4")	0°30'



DESAGUE O DESFOGUE

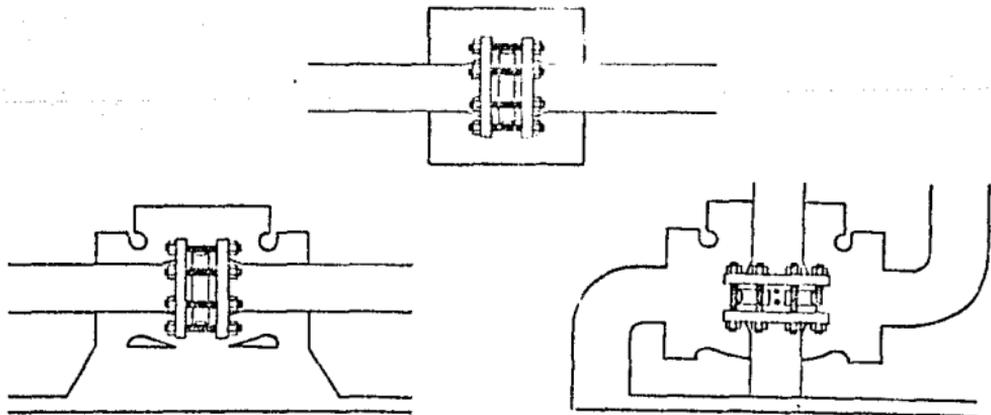


REGISTRO



VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO.

ANEXO 58-D

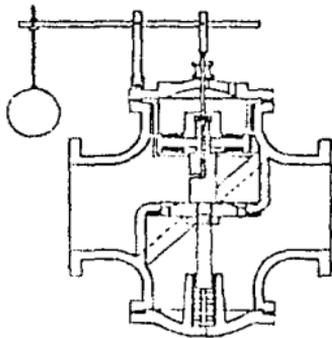


DISPOSITIVOS ALIVIADORES DE
GOPE DE ARIETE.



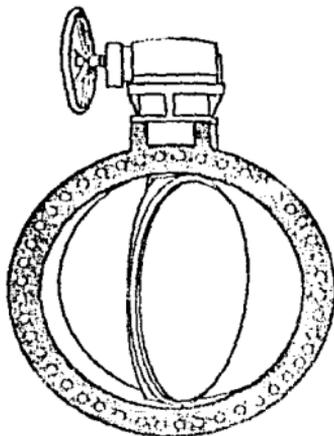
VALVULA DE GLOBO

ANEXO 58-F



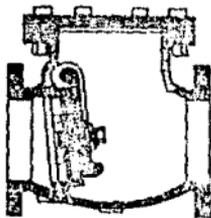
VALVULA DE FLOTADOR.

ANEXO 58-G



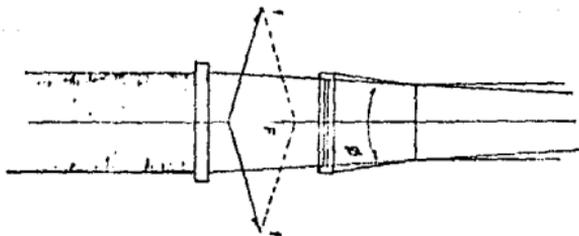
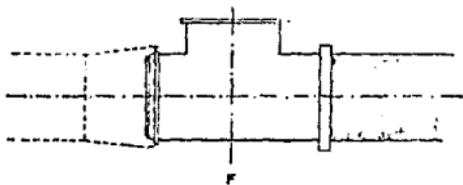
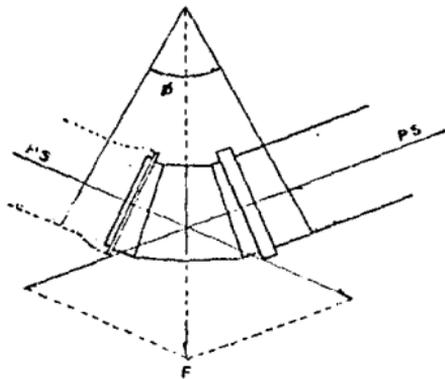
VALVULA DE MARIPOSA.

ANEXO 58-H

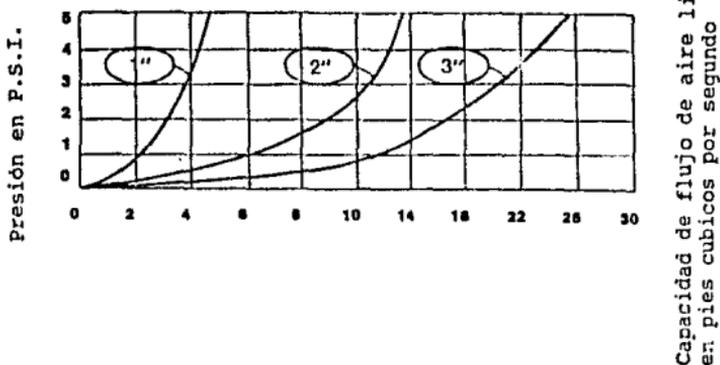


VALVULA DE RETENCION
O CHECK.

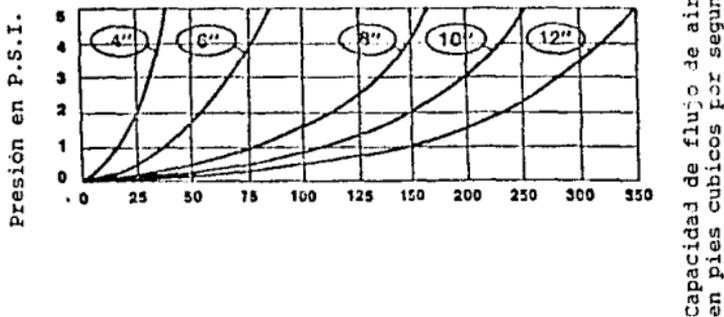
ANEXO 59



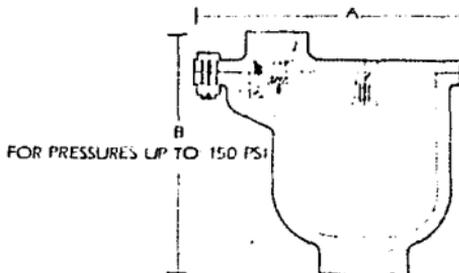
GRAFICA PARA CALCULAR LAS VALVULAS DE ADMISION - EXPULSION DE AIRE MARCA RENVAL MODELOS RAV1, RAV2 Y RAV3 DE 1", 2" Y 3" PULGADAS RESPECTIVAMENTE.



GRAFICA PARA CALCULAR LAS VALVULAS DE ADMISION - EXPULSION DE AIRE MARCA RENVAL MODELOS RAV4, RAV6, RAV8, RAV10 Y RAV12 DE 4", 6", 8" Y 12" PULGADAS RESPECTIVAMENTE.

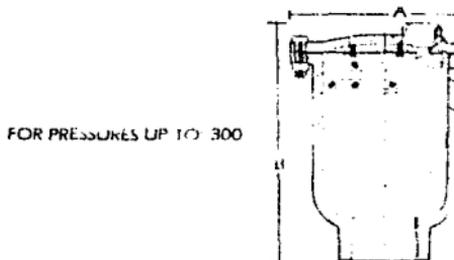


ANEXO 59-D



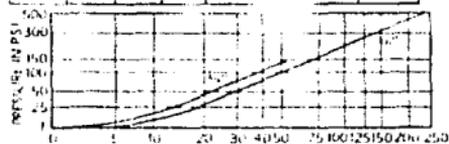
FOR PRESSURES UP TO 150 PSI

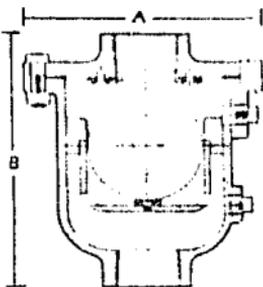
MODEL	A	B	INLET	ORIFICE SIZE	MAX. W.P.	WEIGHT LBS.
RE1	6.5/8	6.3/8	1/2	1/32	150 PSI	9.1/2
RE1	6.5/8	7.1/8	1	1/8	175 PSI	9.1/2

DISCHARGE OF AIR THROUGH AN ORIFICE IN S.C.F.M.
(STANDARD CUBIC FEET OF FREE AIR PER MINUTE)

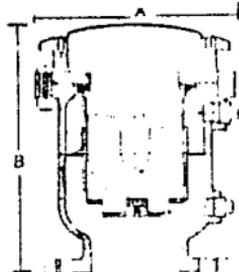
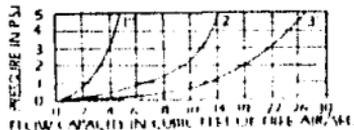
FOR PRESSURES UP TO 300

MODEL	A	B	INLET	ORIFICE SIZE	MAX. W.P.	WEIGHT LBS.
RE2	7.1/8	10.1/4	2	3/16	300 PSI	21

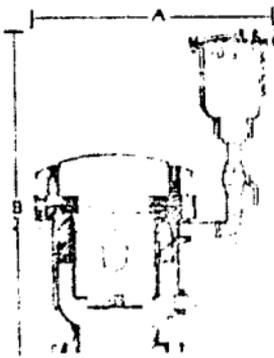
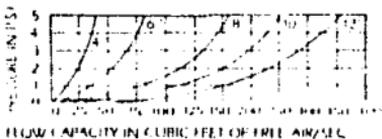
DISCHARGE OF AIR THROUGH AN ORIFICE IN S.C.F.M.
(STANDARD CUBIC FEET OF FREE AIR PER MINUTE)



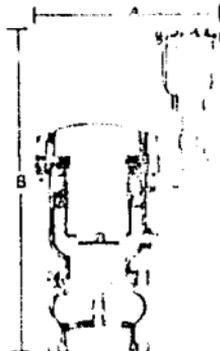
MODEL	INLET	OUTLET	MAXIMUM WORKING PRESSURE	WEIGHT (LBS)
RAV/R01	1"	1"	150	4
RAV/R02	1.5"	1.5"	150	7
RAV/R03	2"	2"	150	11
RAV/R04	2.5"	2.5"	150	16
RAV/R05	3"	3"	150	22



MODEL	INLET	OUTLET	MAXIMUM WORKING PRESSURE	WEIGHT (LBS)
RAV/R06	1"	1"	150	11
RAV/R07	1.5"	1.5"	150	17
RAV/R08	2"	2"	150	24
RAV/R09	2.5"	2.5"	150	32

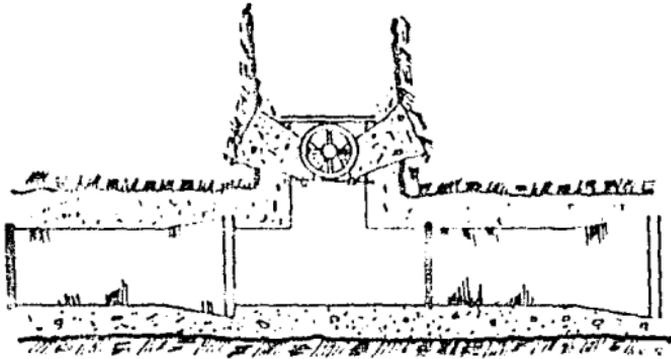


MODEL	INLET & OUTLET	MAXIMUM WORKING PRESSURE	A	B	WEIGHT (LBS)
RAV/R10	6"	150/300 PSI	19	23	112
RAV/R11	8"	150/300 PSI	22	29	162
RAV/R12	8"	150/300 PSI	25	32	200
RAV/R13	10"	150/300 PSI	30	38	312

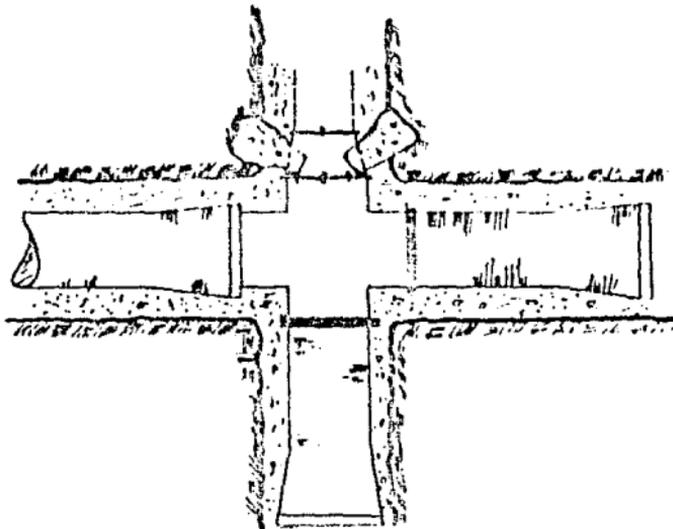


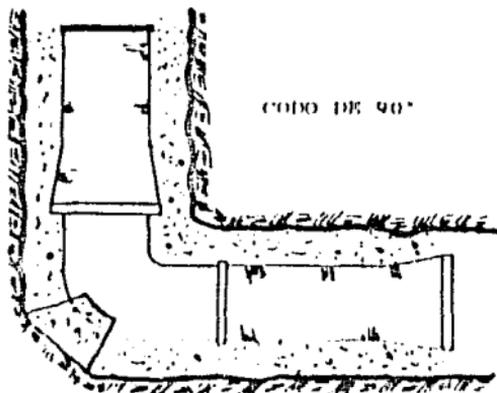
MODEL	A	B	WEIGHT (LBS)
RAV/R14/REZ/PSA	19	30	150
RAV/R14/REZ/PSG	22	33	220
RAV/R14/REZ/RM	25	42	435
RAV/R14/REZ/RS	30	48	545

TEE CON BRAZOS DEL MISMO DIAMETRO
CON UN RAMAL OBTURADO CON VALVULA.

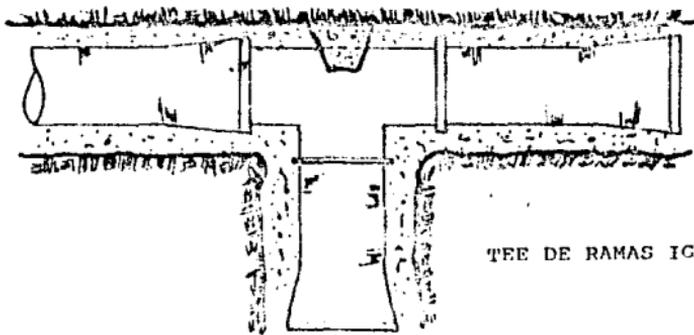


CRUZ DE BRAZOS IGUALES CON UN
RAMAL REDUCIDO.

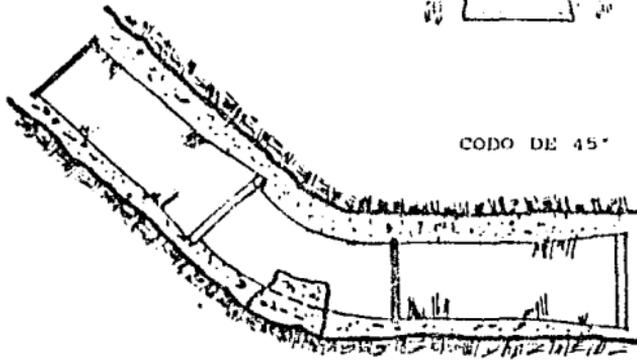




CODO DE 90°



TEE DE RAMAS IGUALES.



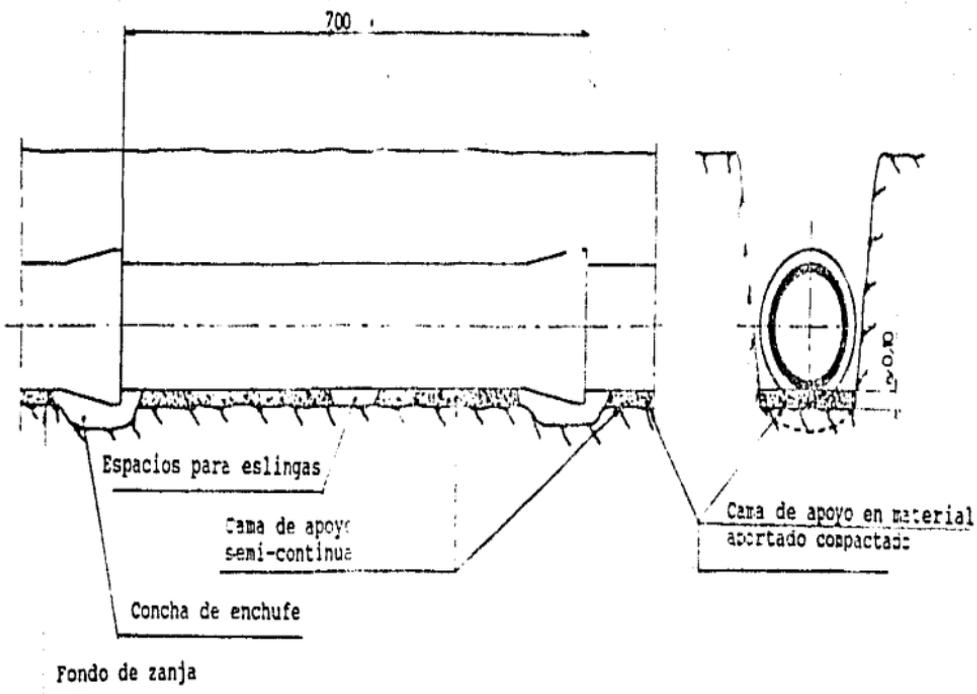
CODO DE 45°

ANEXO 62

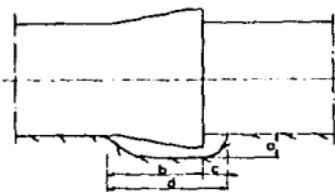
DIMENSIONES DE ZANJAS RECOMENDADAS
PARA TUBOS DE CONCRETO PRESFORZADO

Diámetro nominal en mm.	Diámetro exterior cuerpo del tubo.	Ancho nominal de zanja en cm.
900	109	169
1000	120	180
1200	141	201
1400	163	223
1500	174	234
1800	207	267
2100	240	300
2300	264	324
2500	286	356

CAMA DE APOYO SOBRE BASE APERTADA



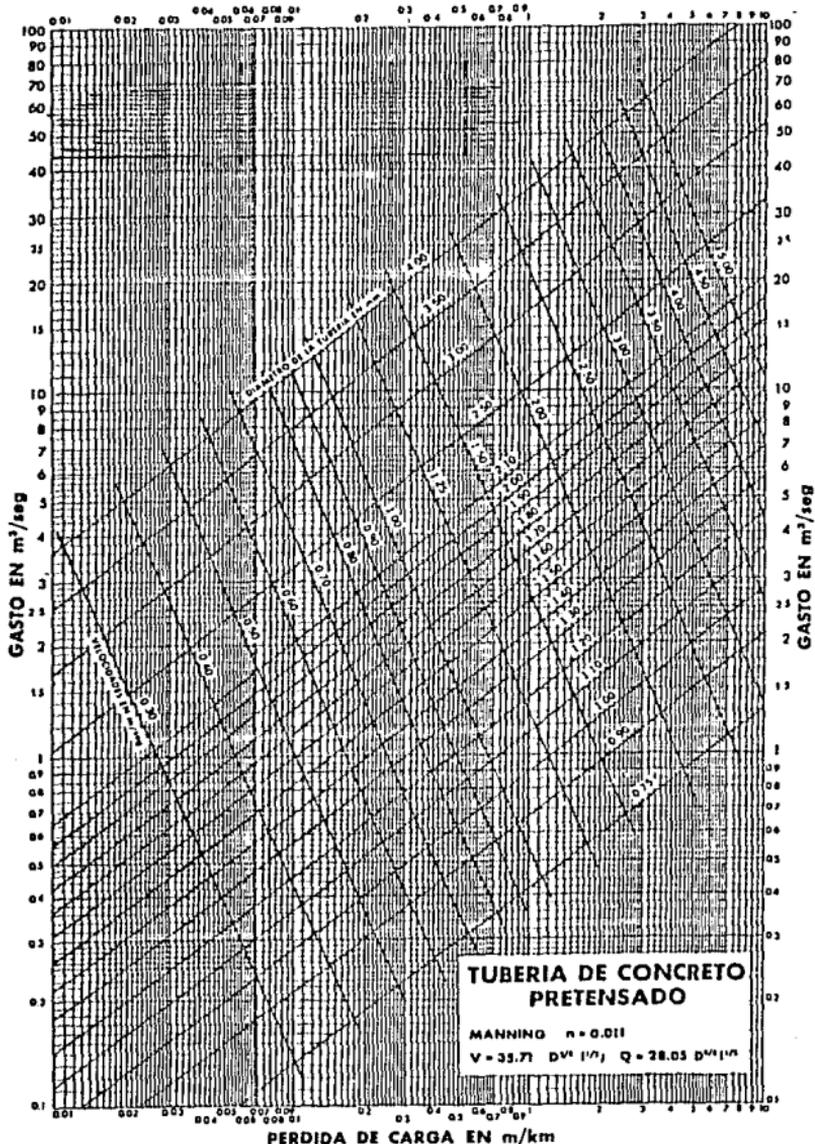
ZANJA



DIMENSIONES APROXIMADAS

D N	a (cm.)	b (cm.)	c (cm.)	d (cm.)
900				
1000	25	100	20	120
1200 - 1400	27	115	20	135
1500	29	120	25	145
1800	31	130	25	155
2100	34	140	30	170
2300	34	140	30	170
2500	34	140	30	170

PERDIDA DE CARGA EN m/km



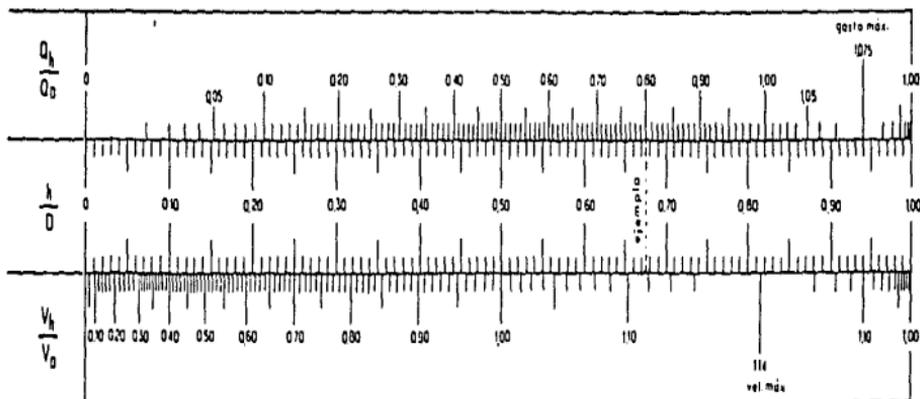
**TUBERIA DE CONCRETO
PRETENSADO**

MANNING $n = 0.011$
 $V = 35.71 D^{0.417} Q^{-0.117}$ $Q = 28.05 D^{0.117} V^{0.417}$

PERDIDA DE CARGA EN m/km

ANEXO 64-B

GASTO DE LAS CONDUCCIONES PARCIALMENTE LLENAS

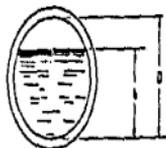


Fórmula de Manning: $V = \frac{1}{0.011} R^{2/3} i^{1/2}$

QD y VD : gasto y velocidad a tubo lleno

Qh y Vh : gasto y velocidad a tubo parcialmente lleno

Empleo de la gráfica:



Una conducción con un diámetro de 0.70 m. es capaz de conducir 500 lt./seg. con una pendiente determinada, queremos saber la altura del agua conduciendo 400 lt./seg. y la velocidad de ésta.

La relación $\frac{Q_h}{Q_D} = \frac{400}{500} = 0.80$ que corresponde en la gráfica a una relación: $\frac{h}{D} = 0.676$; la altura del agua será:

$0.676 \times 0.70 = 0.473$ m.

El área de tubo es: $A = 0.7854 \times 0.7^2 = 0.385$ por tanto, la velocidad $VD = \frac{Q}{A} = \frac{0.5}{0.385} = 1.3$ m./seg.

La relación $\frac{V_h}{V_D} = 1.109$ como muestra la gráfica.

Luego, la velocidad $V_h = 1.109 VD = 1.109 \times 1.3 = 1.44$ m/seg.

REFERENCIAS .

- 1.- Manual de Agua. Tomo I,II,III.
- 2.- Agua Sistema Circulatoria de la Gran Ciudad D.G.C.O.H.
- 3.- Manual de Diseño de Obras Civiles, Hidráulica (Golpe de Ariete) C.F.E.
- 4.- El Agua en México. D.G.C.O.H.
- 5.- Hidráulica General Volúmen 1 Fundamentos, Gilberto Sotelo Avila. Editorial Limusa.
- 6.- Fundamentos de Hidráulica General, Paschoal Silvestre. Editorial Limusa.
- 7.- Hidráulica, Samuel Trueba Coronel. Editorial C.E.C.S.A.
- 8.- Manual de Diseño de Obras Civiles, Estructuras C.2.6 Tuberías C.F.E.
- 9.- Criterios y Recomendaciones para proyecto de aprovechamiento de Agua-- y Alcantarillado D.G.C.O.H.
- 10.- Manual de Normas de Proyecto para Obras de Aprovechamiento de Agua Potable en Localidades Urbanas de la República Mexicana.

- V** = Velocidad media en m / s .
L = Longitud de la tubería en m .
 ν = Viscosidad cinemática en m^2 / s .
 ρ = Densidad del fluido.
 ρ_a = Densidad del agua en $kg - seg^{-3} - m^{-3}$.
Z = Energía de posición correspondiente a la elevación del eje del conducto con respecto a un nivel horizontal de referencia en m .
g = Aceleración de la gravedad en m / s^2 .
P = Presión en una sección transversal en kg / m^2 .
H = Carga hidráulica en m .
 h_L = Pérdidas de carga en m .
h = Pérdida de carga unitaria.
Q = Gasto en : m^3 / s , l.p.s., etc.
S = Área de la sección en m^2 .
 H_f = Pérdida de carga por fricción.
f = Factor que depende del tipo de material y estado de la tubería.
d, D = Diámetro de la tubería en m .
K = Coeficiente empírico.

 Δh = Pérdida de carga local en m .
 μ = Período de la tubería en seg .
 h_{prev} = Sobrepresión máxima por golpe de ariete en m .
a = Celeridad de la onda en m / s^2 .
 Z_p^2 = Parámetro deducido de las ecuaciones conjugadas de Allievi.

- G₁ = Grado de apertura de la válvula en el tiempo t
- ZK = Parámetro del sistema de ecuaciones para obtener las presiones en la válvula de una tubería, su valor es
- $$2 \left(\frac{dv}{2gH_0} \right)$$
- H₀ = Sobrepresión por golpe de ariete en m.
- H_n = Presión normal en el conducto en m.
- E = Módulo de elasticidad del agua en kg · m².
- e = Espesor de la tubería.
- E = Módulo de elasticidad de la tubería en kg · m².
- μ = Relación de Poisson
- K_a = Módulo volumétrico del agua, en kg · m².
- C₁ = Parámetro adimensional que describe el efecto de la velocidad de onda sobre el tubo.
- σ = Coeficiente de cavitación.
- P_v = Presión de vaporización del líquido.
- V₀ = Velocidad de referencia, comúnmente en la zona sin disturbios.
- Z₁ = Parámetro que relaciona la presión normal de trabajo en el conducto y la sobrepresión por golpe de Ariete, su valor es
- $$\left(\frac{H_1}{H_0} \right)$$
- n = Rugosidad de Manning.
- S = Pendiente hidráulica.
- R = Radio hidráulico de la tubería en m.
- J = Pérdida de carga en m.c.a., por metro de conducción.
- C₁ = Coeficiente que depende del material de la pared interior del tubo, de la velocidad del agua y del diámetro.
- C₂ = Coeficiente de la fórmula de Scobey.
- K = Altura de rugosidad de la pared interior en m.
- ν₀ = Viscosidad cinemática del agua en m² · seg. (1.24 x 10⁻⁶ en agua a 15°C).

- A = Coeficiente de la fórmula de Colebrook.
- Q_{md} = Gasto máximo diario en l.d.s.
- n_s = Suma de pérdidas secundarias en m.
- n₁ = Altura de impulsión en m.
- n_a = Altura de aspiración en m.
- w_c = Carga vertical sobre el conducto por unidad de longitud.
- C_d = Coeficiente de carga.
- D_e = Ancho horizontal (diámetro exterior en tuberías circulares).
- B_a = Ancho horizontal de la trinchera medida en la parte superior (trazo superior) del conducto.
- C_c = Coeficiente de carga que depende de la relación H/B_a de la relación de acentamientos r/V de la relación de proyección P.
- S_m = Acentamiento de los bridas laterales con altura P, B_c.
- S_n = Acentamiento natural del terreno adyacente al conducto.
- S₁ = Acentamiento del conducto.
- d_c = Deflexión vertical del conducto.
- S_a = Acentamiento del relleno en una altura dada por P, B_d.
- H = Altura en metros.
- C_n = Coeficiente de tuberías.
- C_t = Coeficiente de carga.
- B_t = Ancho máximo de tubería.
- C_c = Conexión del suelo donde se construyó el túnel.
- P = Factor de refuerzo puede tomarse un valor comprendido entre 1.25 y 1.5.
- K₁ = Constante de abovedo, su valor depende del ángulo de enterramiento θ .
- r = Radio medio del tubo en m.
- E = Módulo de elasticidad del tubo.
- I = Momento de inercia de la pared del tubo por unidad de longitud.

- E' = Módulo de reacción del suelo.
 I_c = Factor de impacto.
 C_i = Coeficiente de influencia.
 P_k = Carga concentrada en la superficie del relleno.
 A_e, h_e = Dimensiones del área rectangular con una esquina directamente abajo de la carga.
 ϵ = Deformación longitudinal.
 α_0 = Coeficiente lineal de expansión térmica ($1/^\circ\text{C}$ o $1/^\circ\text{F}$).
 ΔT = Cambio de temperatura térmica ($1/^\circ\text{C}$ o $1/^\circ\text{F}$).
 K_{max} = Curvatura máxima.
 v_i, a_i = Valores máximos de las intensidades sísmicas en el tubo.
 C_p = Velocidad de propagación de ondas P de compresión, en el medio que rodea el tubo.
 C_s = Velocidad de propagación de ondas de cortante S en el medio que rodea el tubo.
 P_s = Peso total de la sección de conducción situada entre dos bloques de anclaje.
 ϕ = Es el ángulo en la horizontal.
 P = pendiente en metros de altura por metros de longitud.
 D_D = Diámetro de la tubería en pulgadas.
 A = Área de abovo en m^2 .
 t = Resistencia del terreno en kg / m .
 F = Embuje en la tubería en kg .
 A_i = Área de la sección interna del tubo mayor.
 a_i = Área de la sección interna del tubo menor.