

LINEA DE CONDUCCIÓN

Se denomina línea de conducción a la parte del sistema constitutivo por el conjunto de ductos y accesorios destinados a transportar el agua desde donde se encuentra en estado natural hasta un punto que puede ser un tanque de almacenamiento o bien una planta potabilizadora; la capacidad de esta línea debe calcularse con el gasto máximo diario.

Las líneas de conducción las podemos dividir en dos tipos: las líneas de conducción por gravedad y líneas de conducción de bombeo.

Líneas de conducción por gravedad:

Se le da este nombre cuando para abastecer a una población, además de planta potabilizadora se construye un tanque elevado que por la propia caída del agua debido a la fuerza de gravedad provea a toda la red.

Líneas de conducción por bombeo:

Las tuberías se definen como los ductos por los cuales pueden circular un líquido o bien un gas. Las tuberías empleadas en los sistemas de abastecimiento de agua son.

- Tubería de fierro.
- Tubería de asbesto–cemento (ac)
- Tubería de policloruro de vinílico (PVC).

MATERIALES

Las tuberías de asbesto cemento se clasifican en clases, así tenemos:

(A-0); (A-2.5); (A-5); (A-14); (A-20); (A-especial); los números 0, 2.5, 5, 10, 14, 20 indican la presión de trabajo de la tubería.

El aire en las tuberías puede causar serias dificultades de operación incluyendo menor capacidad debido a la reducción del área de la sección transversal y variación en el flujo producido por la expansión y contracción del aire en la línea, pueden establecerse a través de sobrepresiones por éstas variaciones de flujo que producen movimientos súbitos de aire de una posición a otra seguidos por el golpe de agua.

Tuberías enterradas.

La función de una tubería es recibir el fluido y trasladarlo de un sitio a otro, excepto en el caso de los electroductos que sirven de alojamiento y protección a cables eléctricos, telefónicos o de televisión.

El fluido que se traslada puede ser líquido o gaseoso. En la mayoría de los casos se trata de líquidos; de éstos es el más común es el agua en diferente forma de uso:

Agua potable.– A partir de los abastecimientos, se conduce en tuberías, generalmente de grandes diámetros y disminuyen éstos en las redes de distribución dentro de las poblaciones, terminando en la llamada toma domiciliaria.

Aguas pluviales.—En este caso a diferencia del anterior, la variación de los diámetros es de menor a mayor, ya que las bajadas de azoteas pueden ser desde 75 mm de diámetro y en la parte enterrada, dentro de las construcciones es de 100 mm como mínimo, mientras que la parte municipal tiene diámetros desde 150 mm hasta de dimensiones tales que permitirían el paso de vehículos en su interior.

Aguas negras.— Funcionan en forma similar a las pluviales. En México generalmente se conducen ambas en las mismas tuberías, pero desde luego es preferible su separación y está deberá efectuarse en cuanto sea posible, para preservar la pureza de las aguas pluviales que se pueden aprovechar directamente.

Aguas en zonas industriales.— En estas zonas la tubería enterrada puede ser, además de conductora de agua potable, (generalmente a presión) de agua que sirva contra incendios; en muchos casos se conducen en la misma tubería por lo que debe elevarse la presión usual en agua potable para satisfacer las exigencias de los reglamentos para conducciones de agua contra incendio (en U.S.A. 150 p.s.i. 10 kgf/cm² mínimo). Aguas negras provenientes de los servicios sanitarios humanos. Aguas de desecho de diferentes operaciones, no deben unirse a las pluviales o negras (Ley del 11 de marzo de 1972 sobre la contaminación del medio ambiente y su reglamentación).

Resumiendo lo antes expuesto, podemos considerar una variedad de servicios que prestan las tuberías enterradas en atención a sus diferentes funciones y que clasificaremos como sigue:

- Por los fluidos que conducen: Tuberías para líquidos y para gases.
- Para líquidos: agua(s) y otros líquidos (petróleo y derivados).
- Para agua: Potable y contra incendio (juntas ó separadas); para riego; aguas negras y pluviales (juntas ó separadas); aguas de desecho; agua de servicio (la usada para enfriamiento, limpieza de equipo etc.)
- Pueden también dividirse en conducciones con presión interior y sin presión. Son conducciones con presión, las de trayecto con fuertes desniveles, las de bombeo, las aguas para combatir incendios, las de distribución de agua potable; y, pueden o no ser a presión las tuberías para aguas negras o de alcantarilla.
- si se toma en cuenta la función de una tubería enterrada, el material que la constituya deberá ser tal que resista: los esfuerzos físicos a que será sometida, tanto desde el interior, como los derivados del medio que la rodea . La acción de ondas electromagnéticas pueden traducirse también en corrosión química o dilataciones térmicas.
- Otras condiciones que deberán tomarse en cuenta son las topográficas, pues por ejemplo, en las conducciones por gravedad la profundidad de la tubería debe ser suficiente para recibir el flujo de las fuentes y suficiente también para que la velocidad del flujo sea igual o mayor de 60 cm/s a fin de evitar la sedimentación de sólidos. En las conducciones a presión se tratará de evitar lomos donde se formen bolsas de aire, etc.
- El tipo de juntas de los tubos, su versatilidad para conectarse a partes necesarias para el servicio como son las válvulas, reducciones, cambios de dirección, derivaciones, cajas rompedoras de presión, bombas etc.
- La seguridad, facilidad de manejo tanto en la instalación como en el uso (mantenimiento).
- La experiencia y conocimiento del material constitutivo de los tubos, tanto en su fabricación como en el uso continuado.
- La tersura de las paredes interiores, tanto inicial del material nuevo, como al cabo de los años.
- Las condiciones económicas en el costo de adquisición, instalación operación y amortización.
- Las consideraciones del tipo social–humano que pueden modificar profundamente las económicas, cuando tienen naturaleza política.

Por otra parte, podemos decir que los principales factores a considerar para una selección de tuberías, atendiendo al material con que se están fabricadas son las siguientes.

- Carácter del fluido a transportar.
- Gasto o cuantía del fluido por transportar. Aquí hay que hacer consideraciones sobre los datos pretéritos, presentes y sobre todo futuros.
- Topografía del terreno y estructura químico–geológica del o de los suelos donde ha de alojarse la tubería.
- Coeficientes de fricción. Características del flujo.
- Vida probable. Experiencia en el uso.
- Facilidad de manejo de instalación.
- Disponibilidad en los tamaños requeridos.
- Tipo de junta. Hermeticidad y facilidad de ensamblaje.
- Disponibilidad y facilidad de instalación de los accesorios.
- Resistencias mecánicas. Aplastamiento, presión, flexión, impacto, etc.
- Resistencia térmica (por la dilatabilidad).
- Resistencia a la erosión.
- Resistencia química (corrosión).
- Resistencia eléctrica.
- Costo del material, manejo e instalación.

Tomando en consideración todos los factores antes enumerados llegamos a la conclusión de que no hay prácticamente un material que satisfaga plenamente todos los requisitos o condiciones enumeradas u otros que puedan presentarse en el diseño de una línea o red de conducción. Por lo tanto el proyectista debe seleccionar el material más a propósito para la aplicación particular que lo ocupa, pudiendo también escoger diferentes materiales y partes para un mismo proyecto.

Los plásticos han iniciado su debut con gran éxito en las conducciones enterradas debido a una serie de características altamente deseables como son: su baja densidad; facilidad de manejo e instalación, excelente coeficiente de escurrimiento por su gran tersura; su gran resistencia química etc. Sin embargo como se dijo antes, no hay ningún material que satisfaga todas las exigencias y el plástico no escapa a ello, ya que, si bien sus ventajas son numerosas, también son muchas sus limitaciones; entre éstas tenemos: La degradación del plástico por migración molecular, su flexibilidad, que siendo una ventaja llega a ser desventaja al producirse grandes deformaciones ante esfuerzos relativamente pequeños; su falta de resistencia a los cambios térmicos, tanto desde el punto de vista estructural, como el orden químico por susceptibilidad a acciones químicas que a temperatura normal no se presentan; a la acción de ciertos solventes; al efecto erosionante; a la falta de una más prolongada experiencia en fabricación y comportamiento, etc.

En conclusión, podemos decir que la elección del material deberá ser producto de un juicioso análisis de los más importantes factores:

- Peso propio del tubo.
- Peso del fluido conducido por el tubo.
- Presión interior ejercida por le fluido transportado.
- La presión o sub–presión hidrostática del manto de agua en el cual puede estar situado el tubo.
- El peso de los terraplenes que cubren al tubo.
- Las cargas superimpuestas que puedan tener estos terraplenes.
- Las sobrecargas móviles o de tráico de vehículos.
- Las variaciones de temperatura y humedad.
- Las reacciones de apoyo de los tubos, tales como; atraques, cambios de dirección, empotramientos etc.

La resistencia que el ducto debe soportar ya instalado, dividida entre un adecuado factor de seguridad, debe ser igual o exceder las cargas impuestas (externas internas o combinadas) sobre él.

Se dispone de métodos para la determinación de las cargas máximas probables debidas a la gravedad de la tierra y a cargas superimpuestas, móviles o fijas. Dichos métodos se aplican a las condiciones más comunes de instalación o sea: en zanja, en terraplén o en túnel.

La resistencia de los tubos enterrados es una función tanto de las condiciones de instalación, como de la resistencia inherente del tubo mismo. La determinación de esta resistencia para los tubos enterrados en el campo, esta basada en el conocimiento que de los tubos fabricados han proporcionado ensayos de laboratorio. Y por lo que respecta a las condiciones de instalación es obvio que se deban tomarse muy en cuenta, tanto en el diseño de las redes o conducciones, como en su ejecución en el campo; no se escatimado la minuciosa supervisión que siempre debe tenerse.

Existen recomendaciones sobre los requisitos mínimos a seguir en una instalación, como la desarrollada por la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (Co. Pa. N. T.). Normas de instalación de tubos de presión y Normas de instalación de tubos de alcantarillado; Pero en México no hay norma oficial, aunque tanto el D.D.F. y R.H. tienen sus reglamentos al respecto, y precisamente nuestro propósito y pensamiento que estos breves manuales den luz a los señores proyectistas sobre todos los factores importantes a considerar en la total realización de una obra de esta naturaleza.

Tubos de asbesto–cemento.

El asbesto–cemento es un material típicamente moderno. Sus constituyentes principales son cemento Pórtland, fibras de asbesto sílice y agua.

Son suficientemente conocidas las cualidades y aplicaciones del cemento Pórtland para extenderlos en explicaciones sobre el mismo. Se puede decir que no cabe una concepción del mundo moderno sin considerar en principalísimo lugar este producto. Ni edificios, ni sistemas sanitarios, pavimentos, puentes, presas, puertos, canales, serían hoy concebibles sin su empleo.

El asbesto (amianto) es una fibra de origen mineral. Es un silicato hidratado de magnesia de textura fibras. Una parte de la magnesia está a veces sustituida por cal y en ocasiones por fierro.

Es un material incombustible con la propiedad de deshacerse en fibras finísimas y con una resistencia diez veces superior a la del acero dulce ordinario.

Resiste a la tensión hasta treinta mil kilogramos por centímetro cuadrado

De la asociación de estos dos materiales (en forma parecida a la compresión, alta resistencia a la tracción, incombustibilidad, impermeabilidad, son anticorrosivos, normalmente dieléctricos y no propician el albergue de colonias bacterianas.

Tanto por razones de textura como por otras razones de orden físico–químico, las superficies obtenidas (especialmente en las superficies interiores en tubos) presentan menos resistencia al flujo de fluido, agua por ejemplo, que otros materiales metálicos que además de tener una aspereza mayor, están sujetos a corrosión y/o incrustaciones.

Tanto en materiales de construcción (láminas de distintos tipos) como en conducciones de agua y otros fluidos (tubos) el asbesto–cemento se ha colocado en lugar prominente a través de los años y en progresión creciente a medida que el tiempo demuestre en forma incontrovertible que sus resultados exceden las previsiones originales.

Como toda industria, el progreso constante ofrece perfeccionamientos continuos que se traducen (a través de nuevas técnicas) en productos mejores, más económicos y altamente especializados. Productos

Mexalit. S.A., inició sus instalaciones en Santa Clara Estado de México, de acuerdo con los últimos perfeccionamientos de la industria y ha seguido incorporando cualquier novedad que implique una mejora del proceso fabril y del producto.

Del mismo modo, las resientes instalaciones de la planta de Mexalit de Occidente en Guadalajara, Jal. Y las de Mexalit del Norte de Chihuahua representan lo más moderno y perfecto obtenible hoy día.

Pero no solo es la modernidad del equipo una condición de oportunidad de obtener el mejor producto posible, sino que los sistemas, la técnica, el personal y las materias primas, representan el complemento indispensable para obtener el in propuesto.

Para ello, Productos Mexalit, S.A., cuenta con las mejores patentes, la asociación y asistencia técnica más moderna y un elenco de técnicos que son un orgullo de la industria nacional.

Fabricación de tuberías.

Según diámetros y clases (tubo para presión de trabajo de 7 k/cm² u otros tipos como A-5, A-10, A-14, etc) el asbesto para la pasta se prepara con una mezcla de distintas clases de fibras según sus diferentes cualidades de longitud, resistencia a la tensión, filtrabilidad, etc.

Una mezcla de diferentes tipos pasa por un molino Willow que además de homogeneizarlas íntimamente, desfibran sus haces abriéndolos en fibras de forma que se obtenga una mayor superficie de contacto y una mezcla más íntima con el cemento. A partir de este momento, hasta la formación del tubo en la maquina que es automática.

ESPECIFICACIONES.

Se deberá probar en fábrica cada tubo y cada cople con un coeficiente de seguridad de 3.5 veces la presión de trabajo especificado, incluyendo a los de la clase A-especial; la prueba se llevará a cabo durante cinco segundos. Cada tubo y cada cople se probará de acuerdo con los valores de la tabla 1.

Tabla 1

Presión hidrostática de prueba	
Clase	Presión de prueba.
Kg/cm²	Kg/cm²
2.5	8.75
5	17.50
7	24.50
10	35.00
14	49.00
Especial	-----

CARGAS EXTERNAS QUE ACTÚAN SOBRE TUBERÍAS ENTERRADAS.

1º. Condiciones de instalación– tipos de cargas– condiciones de apoyo.

Una tubería enterrada soporta el peso del material que la cubre debido a la fuerza de gravedad de la tierra. El valor de esta carga (carga muerta), así como el de las sobrecargas originadas por paso de vehículos (carga viva dinámica) o por acumulación de materiales ajenos al relleno (carga viva estática),

depende de la densidad del propio material del relleno y de su comportamiento o reacción a estas cargas de acuerdo con las condiciones en que se enterró la tubería, es decir, de las condiciones de instalación y también de la forma en que la tubería está asentada sobre el terreno a sea sus condiciones de apoyo.

Como primer paso en nuestro análisis consideraremos las condiciones de instalación que se muestra la figura (1) y que se integran los tres grupos más generalizados: zanjas, terraplén y túnel; se analizarán y deducirán los valores de las cargas muertas y vivas que se originan en cada condición y posteriormente, de acuerdo con diferentes condiciones de apoyo, se deducirá la clase que debe usarse en tuberías de asbestos–cemento.

Fórmula general para valorizar las cargas muertas.

La teoría más generalmente aceptada para encontrar estas cargas es la de Anson Marston y establece que: las cargas muertas son producidas por el peso del prisma de tierra que actúa directamente encima de las tuberías ó– los esfuerzos friccionales opuestos por los prismas adyacentes, cuyo valor, magnitud y dirección, están en función del asentamiento relativo entre los prismas interior y adyacentes.

La forma general de la teoría es la siguiente:

$$W_1 = C_w B \text{ o bien } W_1 = C_w D$$

En la que W_1 . Es la carga vertical por metro lineal que actúa sobre el tubo debida a la fuerza de la gravedad de la tierra y que se desarrollará cuando ocurre el último asentamiento; se expresa en kgf/m³

w. Es el peso específico del material sobre el tubo en kgf/m³

B y D. Son el ancho de la zanja y el diámetro exterior del tubo, respectivamente, dependiendo usar el valor de uno u otro, de las condiciones de instalación; se expresa en m.

C. es una coeficiente que depende de varios factores:

- La relación entre la altura de relleno y el ancho de la zanja.
- El esfuerzo cortante entre los prismas de tierra interior y adyacentes, computado de acuerdo con la teoría de Rankine.
- La dirección y cantidad del asentamiento relativo entre los prismas interior y adyacentes.
- El efecto de cohesión, considerado solo en las condiciones de instalación en túnel.

La aplicación de ésta fórmula en cada una de las condiciones de instalación, no da valores de W_1 en cada caso como se analizará posteriormente; como se observa el coeficiente C, es el que nos origina mayores procesos de deducciones y aplicación de teorías para obtener su valor, por lo que prescindiendo del desarrollo de teorías y deducciones, daremos los valores de C bien sea tabulados o en gráficas de fácil interpretación. Por razones similares omitimos los análisis de la instalación en túnel y también por considerar que su uso es casi nulo.

Instalación de tuberías en Zanja.

Un tubo está enterrado en condiciones de zanja, cuando el ancho de la excavación en la parte superior del tubo y la altura desde este punto al terreno natural satisface una de las dos siguientes condiciones:

- $B \leq 2D; H \geq 1.5B$
- $2D < B < 3D; H \geq 3.5B$ (se recomienda $B=D+0.5$ m.

El valor de la carga vertical producida por el peso del relleno se calcula por la fórmula:

$$W_{et} = C_t w B$$

Donde :

W_{et} = Es la carga vertical sobre el tubo en kgf/m

w = Es el peso unitario del terreno en kgf/m³ (ver tabla 1)

B = Es el ancho de la zanja en la cresta cuyos valores están en función de la relación H/B y para diferentes clases de rellenos, según sus coeficiente de fricción interna.

GOLPE DE ARIETE.

Un factor muy importante para la determinación de la clase de tubería a usarse es el golpe de Ariete.

Un golpe de ariete se define como una fuerza dinámica adicional que se superpone a la presión estática normal que existe en una tubería de conducción.

Esta fuerza dinámica es el resultado de una transformación súbita de la energía cinética producida por la masa móvil del agua, en energía de presión. Esta transformación se produce generalmente por el cierre de algún artefacto instalado en la terminal de la línea, válvula, bomba, etc., creándose de inmediato una onda de presión que tiene cierta velocidad y que oscila de uno a otro extremo de la tubería de conducción.

La velocidad máxima de esta onda es igual a la velocidad de transmisión de sonido en el líquido que llena el tubo. Conocidas las propiedades elásticas de las paredes del mismo y el grado de compresibilidad del agua, podemos aplicar el principio de la conservación de la energía y enunciarlo como sigue:

Energía cinética del agua = Energía para comprimir el agua + Energía para expansionar el tubo.

Aplicando valores y efectuando deducciones, puede establecerse una fórmula para el cálculo de la sobrepresión en diferentes tubos y redes, como sigue:

En las que:

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

"h = incremento de presión ocasionado por el golpe de ariete (m).

V_o = Velocidad del agua en la conducción (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

E = Módulo de elasticidad del material del tubo (k/cm²)

K = Módulo de elasticidad del agua (k/cm²)

D = Diámetro del tubo (m)

b = Espesor de las paredes del tubo (m)

Este valor de "h, es el máximo incremento de presión que puede provocar un golpe de ariete.

Una fórmula más sencilla para la determinación del valor máximo del golpe de ariete es la de Michaud:

En la que:

"h = Incremento de presión ocasionado por el golpe de ariete (m).

L = Longitud de la tubería (m).

V₀ = Velocidad inicial del agua (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

T = Tiempo que dura la operación del cierre en segundos.

Tiempo Crítico.

La máxima sobrepresión ocurrirá cuando el valor de T sea igual o menor que $2L/a$, en que a es la velocidad de la onda de presión en metros por segundo y que en el agua tiene un valor máximo de 1425 m(seg y que puede calcularse con precisión por la fórmula (1-1)

Como puede observarse en la fórmula (1-3) el valor del golpe de ariete es proporcional a la velocidad inicial del agua.

Para tiempo de cierre crítico, el valor máximo del golpe de ariete, en términos generales, equivale a una atmósfera por cada 10 cm de velocidad del flujo.

Fórmula simplificada.

Aplicando los valores correspondientes a espesor, diámetro y módulos de elasticidad de los diferentes tubos de asbesto, en la fórmula (1-1), se obtiene los valores de la velocidad de la onda de presión, que se consignan en la siguiente tabla:

Con estos valores de a, se simplifica el proceso para encontrar el golpe de ariete, pues basta con aplicar la formula (1-2) con los valores que la resuelven:

ACCESORIOS Y PIEZAS ESPECIALES.

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LA CONDUCCIÓN

Debido a las características de esta conducción, se considera ésta como una conducción a presión. Este tipo de conducción resulta ser más corta que una conducción por escurrimiento libre, ya que no requiere seguir una línea de pendiente determinada.

Al estudiar el trazado de la tubería, se debe tener en cuenta la posición de ésta en relación con la línea piezométrica. De acuerdo con la topografía existente, se obtendrán diferentes esquemas de trazados. Algunos de ellos son:

Tubería por debajo de la línea piezométrica (conducción forzada)

En este caso ideal, el cual debe procurarse siempre que sea posible.

Fig. 3. Conducción forzada.

En esta conducción se deben instalar accesorios especiales como válvulas de purga en los puntos bajos para realizar las labores de limpieza periódica, y válvulas de expulsión de aire (ventosas) en los puntos altos. La descripción del funcionamiento y de las especificaciones de estos accesorios se hace más adelante.

Lámina de agua coincidente con la línea piezométrica (conducción libre)

Fig.4. Conducción libre.

En este caso se trata de una tubería fluyendo a tubo lleno o parcialmente lleno. Este caso no tiene tampoco problemas desde el punto de vista hidráulico pero es raro de encontrar en este tipo de conducción.

Tubería por encima de la línea piezométrica.

Fig. 5. Tubería bajo presión negativa

En este caso el tramo A–B indicado en la figura 5 estará en condiciones de presión negativa, con lo cual sería difícil evitar la entrada de aire a la tubería. La presión entre los puntos A–B es menor que la presión atmosférica y por lo tanto no se puede instalar ventosas.

Tubería por encima del plano piezométrico estático

Fig.6. Sifón

Si la tubería se encuentra por encima del plano piezométrico estático y por debajo del plano piezométrico estático más la presión atmosférica total, se constituye un sifón y por lo tanto habrá necesidad de la instalación del equipo necesario para cebar el sifón.

Tubería por encima del plano estático de presión absoluta

Como se observa en la figura 7 en este caso es imposible el flujo por gravedad y será necesaria la utilización de bombeo.

Fig.. 7.Se requiere bombeo

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CONDUCCIÓN FORZADA

Válvula de purga

Son válvulas instaladas lateralmente, en todos los puntos bajos del trazado, (no deben ubicarse en tramos planos), como se indica en las figuras 3 y 6, donde haya posibilidad de obstrucción de la sección de flujo por acumulaciones de sedimentos, facilitando así las labores de limpieza de la tubería.

La derivación se hace por medio de una te cuyo diámetro mínimo es de 2 (5cm).

En la tabla 2 se indican los diámetros de dicha derivación según el diámetro de la tubería principal, la cual se basa en el criterio de $\frac{1}{4}$ de diámetro principal.

Tabla 2

Diámetro de la válvula de purga

Tubería principal Purga

Diámetro (plg) Diámetro (Plg)

- 2
- 3
- 4
- 6
- 8

> 40 10

Fig. 8. Válvula de purga.

Ventosas

Las ventosas son válvulas de expulsión o admisión de aire, de funcionamiento automático, que deben ubicarse en los puntos altos de la conducción, siempre que la presión en dicho punto no sea muy alta o menor que la presión atmosférica.

Fig. 9. Ubicación de la ventosa y detalle de la válvula.

Estas válvulas tienen varias funciones: 1) expeler el aire de dentro de la tubería durante su llenado; 2) expulsar el aire que tiende a acumularse en los puntos altos, y 3) admitir aire en el caso de operación de una válvula de purga que pueda crear presiones negativas en la tubería (ver figura 9). Como criterio general, el diámetro de la ventosa es $\frac{1}{2}$ del diámetro de la tubería principal y en todo caso mayor de $\frac{1}{2}$.

Válvulas de control

Además de los elementos vistos anteriormente, se deberán instalar válvulas de control al comienzo de la conducción, al final y cada 1000 metros. Mediante estas válvulas se podrán aislar tramos de tubería en caso de rotura de ésta.

Materiales y presiones de trabajo

Las tuberías utilizadas para conducciones forzadas son construidas con diferentes materiales. Los materiales más comunes son acero, asbesto–cemento, hierro fundido, concreto o plástico (PVC), son diferentes características de rugosidad según se observa en la tabla 10.5.

Todas las tuberías son construidas para resistir diferentes presiones de trabajo, y aun dentro del mismo material hay diferentes clases de tuberías según sean sus especificaciones de construcción.

En las tablas 3 y 4 se presentan algunos valores de presión máxima de trabajo y diámetros comerciales de tuberías en asbesto–cemento y PVC.

Tabla 3

Clases de tubería de asbesto–cemento (eternit)

Clases Presión máxima Series de diámetros disponibles comercialmente

servicios (kg/cm²) (plg)

30 15.0 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 24

25 12.5 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 24

20 10.0 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 24, 28

15 7.5 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 24, 28

10 5.0 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 24, 28

Tabla 4

Relación diámetro–espesor (RDE) para tuberías de PVC (PAVCO unión Z)

RDE Presión máxima Serie de diámetro disponibles comercialmente

de servicios (kg/cm²) (Plg)

21 14.06 2, 2 ½ , 3, 4, 6, 8, 10, 12

26 11.25 2, 2 ½ , 3, 4, 6, 8, 10, 12

32.5 8.79 3, 4, 6, 8, 10, 12

41 7.03 4, 6, 8, 10, 12

Cuando la presión en un punto determinado del trazado sobrepasa la presión máxima de trabajo, se pueden dar diferentes soluciones a saber:

- Modificación del trazado de la tubería. En ocasiones resulta más conveniente cambiar el alineamiento horizontal de la tubería con el fin de salvar el accidente topográfico causante del problema. En ocasiones puede resultar una longitud de tubería mucho mayor que no compensa el sobrecosto de aumentar la clase de la tubería.
- Cambiar la clase de la tubería o material de ésta. En este caso se deberá cambiar el tramo que se encuentre con presiones extremadamente altas, se deberá emplear tubería de acero que puede llegar a resistir presiones del orden de los 80 kg/cm². En la figura 10.8 se ilustra un trazado bajo estas condiciones, en el cual se hace necesario cambiar la clase de la tubería en los 1, 2 y 3.
- Construcción de cámaras de quiebre de presión. Estas cámaras construidas en los puntos A y B (en el caso del ejemplo de la figura 10.8), modifican la línea piezométrica logrando en estos puntos una presión igual a la presión atmosférica y reduciendo la presión en los puntos críticos. Este tipo de cámaras se ilustra en la figura 11

Fig. 10.Presiones de trabajo.

CÁLCULO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN .

Una de las fórmulas más empleadas para en el cálculo de tuberías forzadas es la de Hazen –Williams. Ésta es una fórmula empírica resultante del análisis estadístico de una gran cantidad de datos experimentales. Es aplicada satisfactoriamente para cualquier material entre 0.05 m y 3.50 m de diámetro. Su formulación es la siguiente:

$$Q=0.2785 \text{ CD}2.63J0.54$$

En donde:

Q = Caudal (m^3/s)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

J = Pérdidas de carga unitaria (m/m de conducción)

C = coeficiente de rugosidad de Hazen– Williams.

Coeficiente de rugosidad, C .

El coeficiente de rugosidad es una función principalmente del material de la tubería y del estado de las paredes del tubo. Con el tiempo se presentarán incrustaciones de calcio y magnesio (contenidos en el agua) en las paredes de la tubería, modificando su rugosidad; este fenómeno es especialmente crítico para tuberías de acero o hierro fundido, En la siguiente figura caso (b). Los tubos de concreto, asbesto–cemento, cobre y plástico mantienen por un mayor período de tiempo sus características originales de rugosidad. Otro factor de la rugosidad es la corrosión de la tubería, la cual se manifiesta por medio de tubérculos que aparecen en la superficie interna como en el caso (c). Este fenómeno es más controlable que el de la incrustación, ya que es posible revestir adecuadamente la superficie interna de la tubería.

La tabla 5 presenta la alteración que sufren las tuberías de acero y hierro fundido con el tiempo. Como se puede observar, estos materiales son muy susceptibles de alteración y por lo tanto se recomienda diseñar la tubería con un valor de C de la tubería en uso, aun cuando el valor de C original es de interés para conocer el caudal inicial.

Tabla 5

Reducción porcentual de las características de rugosidad para acero y hierro fundido, según Hazen–Williams

Diámetro.

Años.

4 30

Nueva 100 100

20 68 77

30 58 69

La tabla 6 indica algunos valores comunes de C para diferentes materiales; allí también se observa la reducción gradual del coeficiente de rugosidad con el tiempo.

Tabla 6

Coeficientes de rugosidad típicos

Material de la tubería C

Acero remachado (nuevo) 110

Acero remachado (usado) 85

Acero soldado (nuevo) 130

Acero soldado (usado) 90

Hierro fundido (nuevo) 130

Hierro fundido (15–20 años) 100

Hierro fundido (>20 años) 90

Concreto (buena terminación) 130

Concreto (terminación común) 120

Asbesto–cemento 140

Plástico (PVC) 150

ESPECIFICACIONES PARA CANALES REVESTIDOS.

Conductos cerrados a superficie libre.

Este tipo de conducciones tienen las mismas ventajas y desventajas que las conducciones abiertas con excepción de la posible contaminación externa del agua. Los conductos pueden ser prefabricados o construidos en el sitio. El método de cálculo es similar y solo difiere en cuanto a las recomendaciones de velocidad y pérdidas.

Conductos prefabricados.

Comúnmente se trata de tuberías fabricadas en diferentes materiales y diámetros como por ejemplo:

- Tubería de gres.
- Tubería de cemento.
- Tubería PVC.

La tubería de gres y la cemento se fabrican de hasta 36 (91 cm) de diámetro y la unión entre la campana y el espigo se hace por medio de mortero 1:2, unión asfáltica o anillo de caucho.

- Tubería de concreto reforzado.

La tubería de concreto reforzado se fabrica desde 1.0 m de diámetro en adelante y su unión consiste en general en anillos de caucho.

Conductos construidos en el sitio.

Pueden ser de diferentes formas según lo indicado en la siguiente figura.

Especificaciones de diseño: Botacoma–Desarenador.

Velocidad mínima.

La velocidad mínima especificada es de 0.6 m/s a tubo lleno. Esta norma satisface la necesidad de obtener una velocidad que sea capaz de permitir el arrastre de material sedimentario.

Velocidad máxima.

La velocidad máxima depende del material de la tubería y se especifica por la erosión del material de ésta.

Tubería de gres: 5 m/s

Tubería de concreto. 4 m/s

Diámetro mínimo: 6 (0.15 m)

Pérdidas por exfiltración.

Tabla 8.

Valores típicos de exfiltración.

Diámetro Exfiltración Diámetro Exfiltración

(Plg) (L/s. Km.) (Plg.) (L/s. Km.)

6 0.108 12 0.203

8 0.135 15 0.257

10 0.170 18–26 0.406

Ecuación de diseño.

Tradicionalmente, la ecuación de diseño para conductos con flujo por gravedad ha sido la ecuación de Manning:

ecuación (1)

en donde:

$Q = \text{Caudal (m}^3/\text{s})$.

$A = \text{Área de la sección de flujo (m}^2)$.

$R = \text{Radio Hidráulico} =$

$P = \text{Perímetro mojado (m)}$.

$D = \text{Diámetro de la tubería (m)}$.

$S = \text{Pendiente de la tubería (m/m)}$.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

Ecuación (2)

y despejando el diámetro de la tubería, se tiene:

Ecuación (3).

Al calcular el diámetro de la tubería por medio de la ecuación (3), se tiene que seleccionar el diámetro comercial superior (mínimo de 6 ó 15 cm). Con este nuevo valor del diámetro comercial, se calcula el caudal a tubo lleno, Q₀, utilizando la ecuación (2) y la velocidad a tubo lleno, V₀, dividiendo el caudal a tubo lleno por el área de la sección del diámetro comercial.

Obtenida la relación de Q/Q₀, se entra a la tabla 9. de donde se obtienen las relaciones V/V₀ y d/D, donde v es la velocidad real de la tubería y d la lámina de agua en ésta.

Tabla 9

Relaciones hidráulicas para conductos circulares (n0/n variable)

Q/Q₀ ReL. 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09

0.0 V/V₀ 0.000 0.292 0.362 0.400 0.427 0.453 0.473 0.492 0.505 0.520 d/D 0.000 0.092 0.124 0.148 0.165
0.182 0.196 0.210 0.220 0.232 R/R₀ 0.000 0.239 0.315 0.370 0.410 0.449 0.481 0.510 0.530 0.554

0.1 V/V₀ 0.540 0.553 0.570 0.580 0.590 0.600 0.613 0.624 0.634 0.645 d/D 0.248 0.258 0.270 0.280 0.289
0.298 0.308 0.315 0.323 0.334

R/R₀ 0.586 0.606 0.630 0.650 0.668 0.686 0.704 0.716 0.729 0.748

0.2 V/V₀ 0.656 0.664 0.672 0.680 0.687 0.695 0.700 0.706 0.713 0.720 d/D 0.346 0.353 0.362 0.370 0.379
0.386 0.393 0.400 0.409 0.417 R/R₀ 0.768 0.780 0.795 0.809 0.824 0.836 0.848 0.860 0.874 0.886

0.3 V/V₀ 0.729 0.732 0.740 0.750 0.755 0.760 0.768 0.776 0.781 0.787 d/D 0.424 0.431 0.439 0.447 0.452
0.460 0.468 0.476 0.482 0.488 R/R₀ 0.896 0.907 0.919 0.931 0.938 0.950 0.962 0.974 0.983 0.992

0.4 V/V₀ . 0.796 0.802 0.806 0.810 0.816 0.822 0.830 0.834 0.840 0.845 d/D 0.498 0.504 0.510 0.516 0.523
0.530 0.536 0.542 0.550 0.557 R/R₀ 1.007 1.014 1.021 1.028 1.035 1.043 1.050 1.056 1.065 1.073

0.5 V/V₀ . 0.850 0.855 0.860 0.865 0.870 0.875 0.880 0.885 0.890 0.895 d/D 0.563 0.570 0.576 0.582 0.588
0.594 0.601 0.608 0.615 0.620 R/R₀ 1.079 1.087 1.094 1.100 1.107 1.113 1.121 1.125 1.129 1.132

0.6 V/V₀ . 0.900 0.903 0.908 0.913 0.918 0.922 0.927 0.931 0.936 0.941 d/D 0.626 0.632 0.639 0.645 0.651
0.658 0.666 0.672 0.678 0.686 R/R₀ 0.136 1.139 1.143 1.147 1.151 1.155 1.160 1.163 1.167 1.172

0.7 V/V₀ . 0.945 0.951 0.955 0.958 0.961 0.965 0.969 0.972 0.975 0.980 d/D 0.692 0.699 0.705 0.710 0.719
0.724 0.732 0.738 0.743 0.750 R/R₀ 1.175 1.179 1.182 1.184 1.188 1.190 1.193 1.195 1.197 1.200

0.8 V/V₀ . 0.984 0.987 0.990 0.993 0.997 1.001 1.005 1.007 1.011 1.015 d/D 0.756 0.763 0.770 0.778 0.785
0.791 0.798 0.804 0.813 0.820 R/R₀ 1.202 1.205 1.208 1.211 1.214 1.216 1.219 1.219 1.215 1.214

0.9 V/V₀ . 1.018 1.021 1.024 1.027 1.030 1.033 1.036 1.038 1.039 1.040 d/D 0.826 0.835 0.843 0.852 0.860

0.868 0.876 0.884 0.892 0.900 R/R0 1.212 1.210 1.207 1.204 1.202 1.200 1.197 1.195 1.192 1.190

1.0 V/V0 . 1.041 1.042 1.042 1.042

d/D 0.914 0.920 0.931 0.942

R/R0 1.172 1.164 1.150 1.136

En donde:

Q = Caudal de diseño

Q0 = caudal a tubo lleno

V = Velocidad de diseño

V0 = Velocidad a tubo lleno

d = Lámina de agua en la tubería.

D = Diámetro comercial de la tubería.

R = Radio hidráulico al caudal de diseño.

R0 = Radio hidráulico a tubo lleno.

n = Número de Manning a caudal de diseño

n0 = Número de Manning a tubo lleno.

Purga

Tanque

Línea piezométrica

Plano piezométrico Estático

Desarenador

Tanque

Desarenador

Línea piezométrica y lámina de agua

Línea piezométrica

B

A

Presión negativa

Plano piezométrico estático

Desarenador

Tanque

Plano piezométrico Estático

Línea piezométrica

Plano piezométrico Estático

Tanque

Plano piezométrico Estático más presión atmosférica local

Desarenador

Pa

Válvula de purga

Caja

Tubería principal

Derivación

Tanque

Purga

Piezométrica normal con purga cerrada

Ventosa

Piezométrica sin ventosa con purga cerrada

Desarenador

Ventosa

Flotador

\emptyset nominal

Tubería principal

Presiones excesivas

Cámara de quiebre de presión

Aumento de la clase de tubería

1

2

3

(a)

(b)

(c)