

Para ver esta película, debe
disponer de QuickTime™ y de
un descompresor .

Gestión de aguas potables. Grandes conducciones.

Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua

Año 2015-2016

PROFESOR
Francisco Blázquez Prieto

Para ver esta película, debe
disponer de QuickTime™ y de
un descompresor .

Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, Nocomercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Índice

1. Dimensionamiento hidráulico.....	3
2. Dimensionamiento mecánico.....	10
3. Materiales de las conducciones.....	12
4. Conducciones de hormigón.....	12
5. Conducciones de fundición.....	14
6. Conducciones de acero.....	15
7. Conducciones de materiales termoplásticos.....	16
8. Conducciones de PRFV.....	17
9. Criterios de selección.....	17
10. Protección contra la corrosión.....	20
11. Bibliografía.....	24
12. Asociaciones relacionadas con tuberías.....	25

1. DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO

Recordamos que, en las conducciones por gravedad, el agua puede circular en contacto con el aire o con presión superior a la atmosférica. En las conducciones de abastecimiento vamos a circular en general en régimen forzado (a sección llena) y en las de saneamiento el agua circula a sección parcial.

En general estas conducciones se emplean para el transporte de agua y no para la red de distribución, por ello en este apartado no se comentarán los aspectos relativos al diseño de redes, sino que se efectuará un análisis de las fórmulas más empleadas para el dimensionamiento de las conducciones suponiendo que ya se conoce el dato del caudal a transportar por ellas.

Nuestro objetivo es conocer el diámetro más económico para transportar un caudal sin que haya problemas de pérdida de carga.

Fórmulas empíricas

La pérdida de carga continua en una conducción se obtiene con la fórmula

$$\Delta H = i \cdot L$$

Siendo:

ΔH - Pérdida de carga continua (m)

i - Pérdida de carga por unidad de longitud, se expresa en mm/m o m/km

L - Longitud de la conducción (km)

Para un primer tanteo podemos emplear la fórmula de Manning (aunque no es recomendable para tuberías) o la de Hazen-Williams

$$v = 0,85 \cdot C \cdot R_h^{0,63} \cdot i^{0,54}$$

Con valores de $C=110$ para hormigón, 130 para fundición y 150 para plásticos.

En tuberías circulares se cumple $R_h = D/4$ por lo que sustituyendo resulta la expresión:

$$i = 10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot C^{-1,85} \cdot D^{-4,87} \quad \text{siendo } i \text{ (m/m)}$$

Fórmula de Prandtl-Colebrook

Si queremos mayor precisión deberemos partir de la fórmula de Darcy-Weisbach

$$i = \frac{f}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Siendo:

f - Coeficiente de Darcy (también llamado Factor de fricción de Darcy-Weisbach)

D - Diámetro

V - Velocidad del agua

g - Aceleración de la gravedad

El coeficiente de Darcy “f” se obtiene con la fórmula general de Colebrook-White (1939) cuya expresión más conocida, aplicable para tubos lisos en zona de turbulencia completa, es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{K}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

Siendo:

K - Rugosidad absoluta

Re - Número de Reynolds (Re = V·D/v)

v - Viscosidad cinemática.

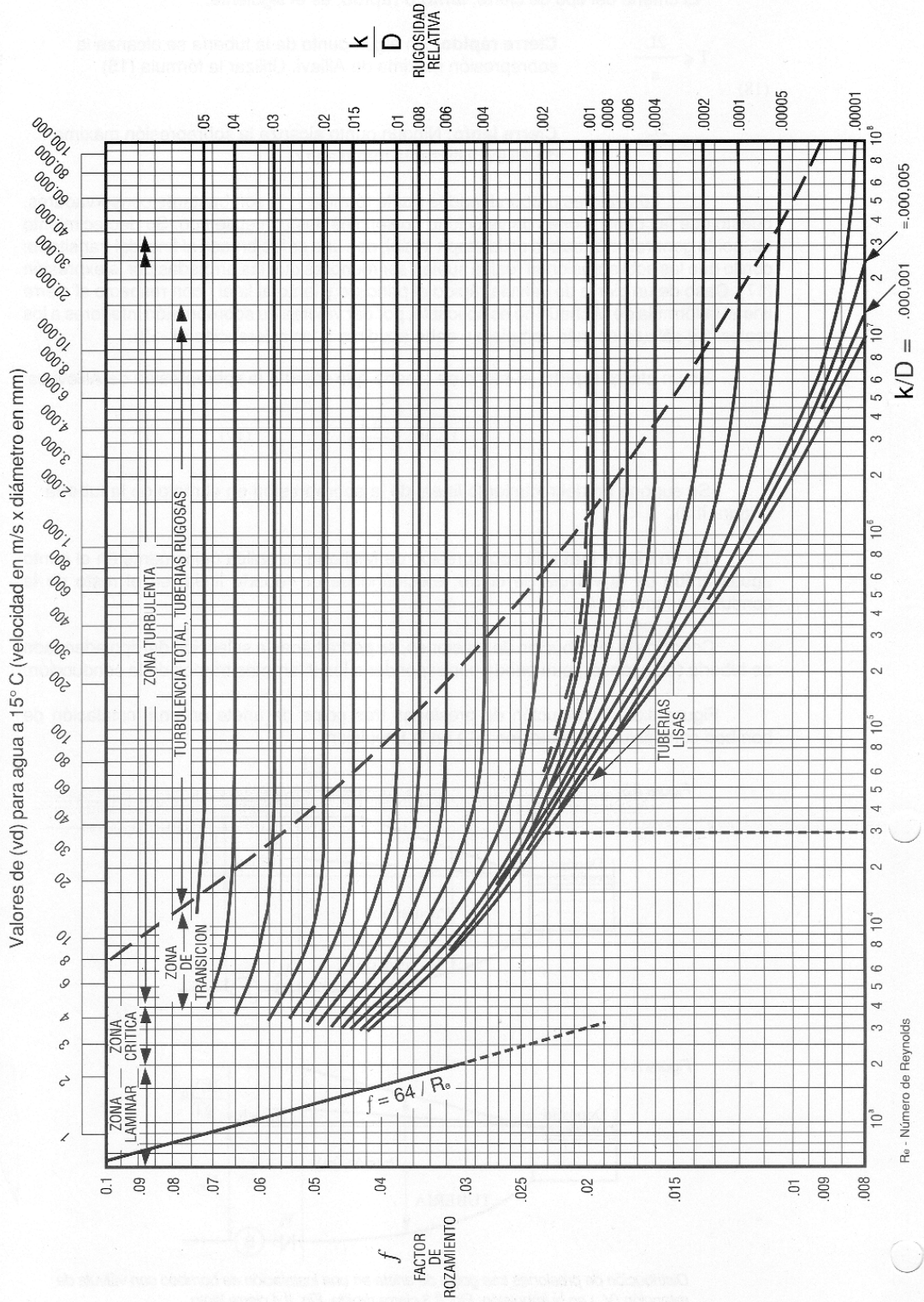
Y eliminando f entre las dos expresiones anteriores resulta la fórmula de Prandtl-Colebrook:

$$V = -2 \cdot \sqrt{2g \cdot D \cdot I} \cdot \log \left(\frac{K}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51 \cdot v}{D \cdot \sqrt{2g \cdot D \cdot I}} \right)$$

Como el cálculo de este valor, requiere un proceso iterativo, la solución más sencilla es su obtención en el ábaco de Moody (que se adjunta en la página siguiente) en el cual, partiendo del número de Reynolds y de la rugosidad relativa (K/D) se llega a determinar f independientemente del tipo de movimiento en la conducción. Este ábaco fue publicado por L. F. Moody en 1944 basándose en la fórmula de Prandtl-Colebrook.

GRAFICO DE MOODY

Factores de fricción para cualquier tipo de tubería comercial



Para obtener el valor de f en el citado ábaco se procede de la forma siguiente:

1. Se calcula K/D (rugosidad relativa) siendo K la rugosidad absoluta y D el diámetro, ambos términos en la misma unidad. Algunos valores de K generalmente empleados son:

Material	K (mm)
Fundición revestida	0,1
Acero revestido	0,05
Hormigón centrifugado	0,25
Fibrocemento	0,025
Material plástico	0,007

2. Se calcula el número de Reynolds ($Re = V \cdot D / \nu$) siendo V la velocidad del agua (en m/s), D el diámetro de la conducción (en m) y ν la viscosidad cinemática del agua cuyos valores se indican en la tabla siguiente.

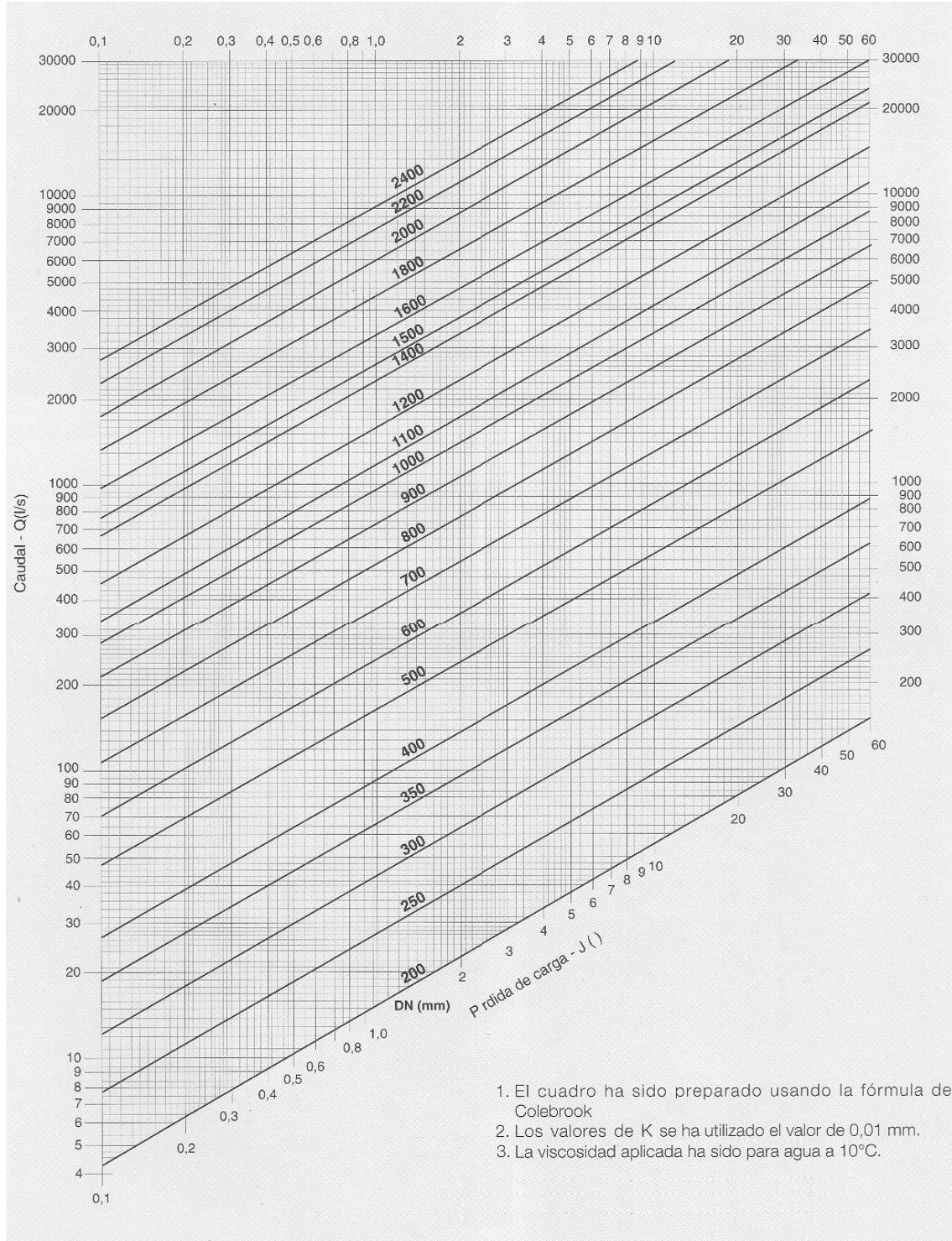
Temperatura (°C)	Viscosidad (m ² /s)
0	1,79.10-6
10	1,31.10-6
15	1,14.10-6
20	1,01.10-6
30	0,86.10-6

Con estos valores se va por la línea de la rugosidad relativa que hayamos obtenido hasta cortar el número de Reynolds calculado. La ordenada en ese punto será el coeficiente f a tomar.

Otra opción es emplear la fórmula de Prabhata K. Swamee y Akalank K. Jain (P.S.A.K.) también denominada fórmula PSAK (1976), que da una solución directa muy aproximada.

Fórmula de Swamee-Jain (PSAK)
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{K}{3,71D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right)$$

En la práctica, los fabricantes tienen calculado para su tubería el valor de i en función del diámetro y el caudal (aplicando las fórmulas citadas) y lo representan en forma de tablas o gráficos de fácil empleo, como el representado a continuación, correspondiente a una conducción de material plástico.

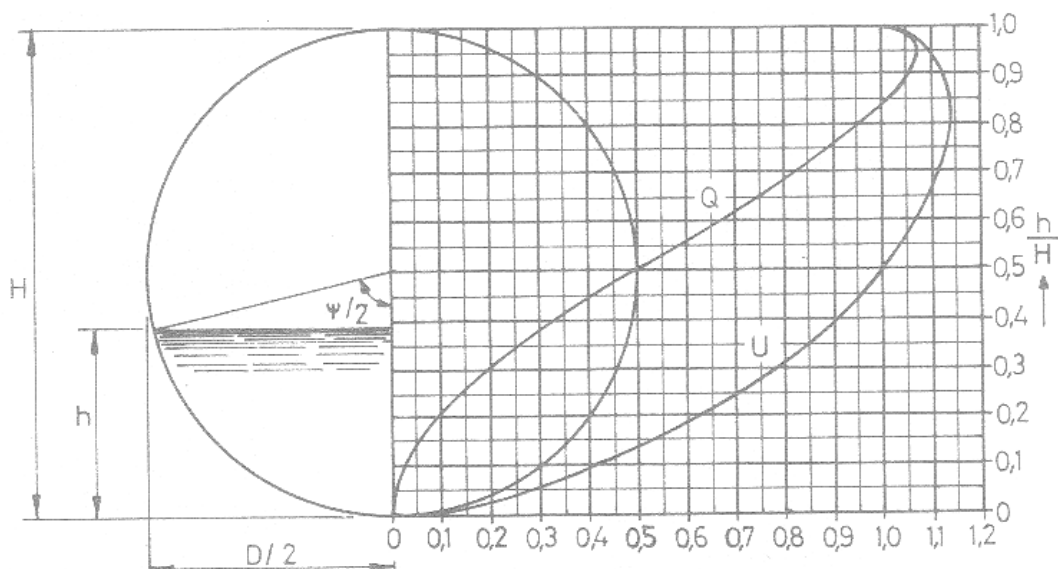


Llenado parcial

Si la tubería no está totalmente llena, los caudales y velocidades circulantes se obtienen mediante la tabla de Thormann-Franke.

En esta tabla se obtienen las variaciones de caudales y velocidades en función de la altura de llenado. Presenta las relaciones Q'/Q y las correspondientes h/D y v'/v . De este modo, conociendo los datos de conducción llena (Q , D y v) y el caudal circulante Q' se obtiene la relación Q'/Q con la que, entrando en la tabla, nos da las relaciones h/D y v'/v a partir de las cuales podemos calcular la altura de lámina de agua en la conducción y la velocidad en la misma.

Estos valores también están resumidos en el gráfico siguiente, aunque la precisión es menor que la de la tabla.



Pérdidas localizadas

Debemos recordar que, además de la pérdida de carga citada, van a aparecer pérdidas de carga localizadas en todos aquellos puntos en los que se produzca una variación del flujo (inicio de la conducción, codos, bifurcaciones, válvulas, etc.).

En general su valor es despreciable para conducciones que cumplan $L > 5000 D$.

Estas pérdidas se calculan por medio de la fórmula general
$$\Delta H = \varphi \frac{v^2}{2g}$$

Donde el coeficiente φ representa el valor debido a la variación geométrica que se resume para algunos casos:

Ensanchamientos bruscos (de d_1 a d_2) $\varphi = \left(1 - D_1^2 / D_2^2\right)^2$

Contracciones bruscas (de d_1 a d_2)

d2/d1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
φ	0,45	0,38	0,28	0,12	0

Embocaduras

TIPO	φ
Entrante	0,788
Angulo recto	0,5
Pequeño redondeo	0,25
Buen abocinamiento	0,04

Desembocaduras $\varphi = 1$

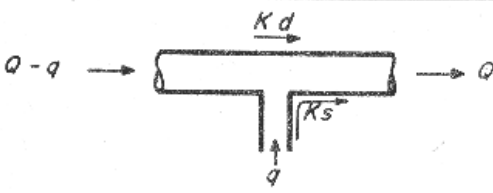
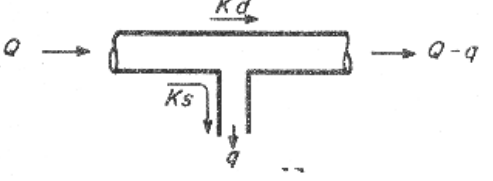
Codos de 90°

R/D	1	1,5	2	4	6
φ	0,48	0,36	0,27	0,21	0,27

Válvulas

Apertura	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8
φ	97,8	17	5,52	2,06	0,81	0,26	0,07

Bifurcaciones

Esquemas	Relación de caudales	K_d	K_s
	$q = Q/3$ $q = Q/2$ $q = 2Q/3$ $q = Q$	0,25 0,40 0,50 -	0,05 0,30 0,55 0,90
	$q = Q/3$ $q = Q/2$ $q = 2Q/3$ $q = Q$	0,06 0,01 0,12 -	0,90 0,92 1,00 1,30

Como resumen, la pérdida de carga total será la suma de la pérdida de carga continua y el total de las pérdidas de carga localizadas.

Un aspecto a señalar es que tiene mucha más incidencia en las pérdidas de carga reales de una conducción, las condiciones de ejecución y de servicio, que la naturaleza de los materiales constitutivos.

2. DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO

Las cargas externas que pueden actuar sobre un tubo enterrado son las siguientes:

- Carga del terreno.
- Carga del tráfico y cargas adicionales estáticas de superficie.

En casos especiales (tubería sobre apoyos discontinuos) será preciso, además, considerar los esfuerzos debidos al peso propio de] agua y de los tubos.

Al efectuar el cálculo de la carga del terreno es preciso distinguir, tres casos según los distintos tipos de zanjas:

- Instalación en zanja estrecha.
- Instalación en zanja ancha o sobre el terreno bajo terraplén.
- Instalación en zanja bajo terraplén.

Se dice que una tubería está instalada en zanja estrecha cuando la relación entre la anchura de ésta, medida al nivel de la generatriz superior del tubo, y la altura de recubrimiento cumple una de las siguientes condiciones:

$$B < 2D \text{ y } H > 1,5B$$

$$2D < B < 3D \text{ y } H > 3,5B$$

Si no se cumplen, consideraremos a la tubería en zanja ancha o bajo terraplén.

Además, las conducciones tendidas bajo carreteras o calles, deben soportar sobrecargas estáticas o dinámicas adicionales a las del terreno, ya estudiadas.

En el caso de sobrecargas verticales concentradas, se genera una la presión vertical en la parte superior del tubo por carga aislada y estática. En el caso de un camión o tren y considerando que las cargas son dinámicas, introduciremos un factor de choque.

La carga interna del agua sólo se tomará en cuenta en casos especiales tales como tubería sobre apoyos discontinuos o tubo en zanja con un ángulo de apoyo menor de 20°.

La resistencia al aplastamiento de un tubo depende mucho de sus condiciones de instalación. El caso más desfavorable, es decir, el que da valores mínimos de resistencia al aplastamiento, es el de ensayo de laboratorio con carga sobre dos generatrices opuestas diametralmente, y en cuyos resultados se han basado los valores mínimos.

En la práctica, los tubos enterrados admiten cargas muy superiores a las de ensayo, debido a las favorables condiciones de apoyo en la zanja. La relación entre la carga de rotura por aplastamiento de un tubo en zanja y la del mismo tubo en el ensayo de laboratorio se denomina “factor de carga”, y es máximo (hasta 3) para tuberías sobre cama de hormigón y mínimo (1,1) para tuberías apoyadas en el fondo de la zanja. En el caso de instalación en zanja ancha el valor oscila entre 1,2 y 2,8 en función de la instalación.

Coeficiente de seguridad. Las simplificaciones introducidas en los cálculos, así como la incertidumbre que puede subsistir al establecer los datos, aconsejan la utilización de un determinado coeficiente de seguridad. El valor mínimo de este coeficiente de seguridad variará según el cuidado y control previsto en la ejecución del trabajo. La Recomendación ISO TC-77 propone un valor 1,3 para cualquier diámetro, siempre que se cumplan adecuadamente las condiciones del tipo de zanja adoptado. En los casos generales se recomienda el mantenimiento de un valor de 1,5.

En general estos cálculos resultan laboriosos por lo que, para simplificarlos, los fabricantes de tuberías suelen disponer de programas adaptados a sus conducciones. En general su objeto es el siguiente:

- a) Cálculo y evaluación de las cargas que actúan sobre un tubo en función de las condiciones de enterramiento.
- b) Determinación de la carga de rotura para dichas condiciones.
- c) Cálculo del coeficiente de seguridad y selección de la serie adecuada.

3. MATERIALES DE LAS CONDUCCIONES

A lo largo de la historia se han utilizado diferentes materiales para las conducciones, si bien los diámetros superiores a 500 mm suponían una limitación a su empleo. En los apartados siguientes se describirán los materiales empelados en la actualidad para las conducciones de diámetros superiores al citado.

En la actualidad son muchos los posibles materiales usados en las conducciones para el transporte de agua, de manera que en muchas ocasiones el planificador o proyectista tiene serias dudas sobre cuál es el óptimo en cada caso. Las tuberías con destino a la conducción de agua constituyen un sector muy dinámico, en evolución, lo que hace que en los últimos años algunos materiales tradicionales se han dejado de utilizar, hayan aparecido otros nuevos o los usualmente utilizados hayan sufrido evoluciones importantes. A continuación se va a hacer una rápida revisión de las principales características de cada tipología de tubería

Debe recordarse que los tubos de fibrocemento, empleados antiguamente en diámetros hasta 1.000 mm y presiones hasta 15 bar, están actualmente prohibidos, en aplicación de la O.M. del Ministerio de la Presidencia de 7 de diciembre de 2001 para cumplimiento de la Directiva UE 99177/CE, la cual prohibió desde 2002 la utilización de fibras de amianto y productos que contienen estas fibras añadidas.

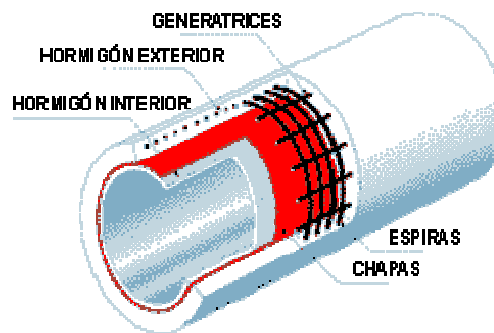
4. CONDUCCIONES DE HORMIGÓN

Para las grandes conducciones a presión se emplean las que incorporan una camisa de chapa (dada la presión interior no se emplean las de hormigón en masa o armado).

En conducciones sometidas a presión y cuando la seguridad es un factor determinante, el tubo de hormigón con camisa de chapa es indicado (abastecimiento, impulsiones, sifones, etc.), bien sea armado (timbrajes pequeños y medianos) o postensado (grandes timbrajes).

El tubo de hormigón armado con camisa de chapa, con junta soldada o junta de goma, está constituido por un tubo intermedio de chapa de acero, con doble revestimiento de hormigón, siendo por el exterior armado. La camisa de chapa y la armadura exterior participan en la resistencia de la tubería. Además, la camisa de chapa asegura la estanqueidad de la tubería.

Los revestimientos interior y exterior protegen las partes metálicas contra la corrosión y las acciones exteriores. También el revestimiento interior se opone a la formación de concreciones asegurando un gradiente hidráulico bajo y constante.



Esta tubería se presenta en diámetro interior de 400 a 3.500 mm con longitud hasta 6,27 m. A petición se ha suministrado el tubo en longitudes de 12,5 m, con ello se reduce a la mitad el número de juntas a efectuar en obra y se mejora notablemente el rendimiento del montaje. El rendimiento de montaje con esta solución es de 16 tubos/día (200 m/día).

Existe posibilidad de fabricar tubería autoportante con junta soldada. Las luces standard entre ejes pueden alcanzar 18,8 m.

Las principales ventajas del tubo de hormigón armado con camisa de chapa son:

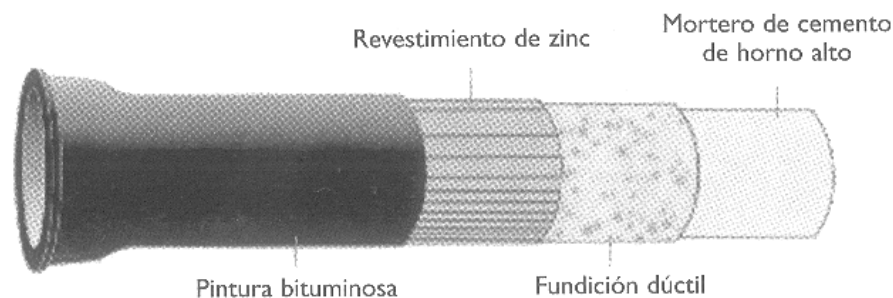
- Fabricación en serie con diámetros y timbrajes a demanda del cliente.
- Resistencia absoluta a efectos ovalizantes. Resistencia a los efectos de impacto.
- La rotura, por causas no imputables a la tubería es lenta y detectable. No estallan.
- Sin conservación. Gran durabilidad.
- No son contaminantes. Bajo consumo energético.

5. CONDUCCIONES DE FUNDICIÓN

La fundición dúctil ofrece elevados niveles de resistencia a las cargas del suelo, garantía de estanqueidad permanente, alta resistencia a los efluentes agresivos y abrasivos y a la acción corrosiva del terreno, propiedades a las que hay que añadir la flexibilidad y facilidad de montaje y bajo coste de instalación y mantenimiento.

La fundición es un material siderúrgico o metálico, constituido por una aleación de hierro y carbono, en la que éste se encuentra en proporciones superiores al 2 %. Aunque hay muchos tipos de fundiciones, en las tuberías sólo se emplea actualmente la dúctil (en la que el carbono en vez de estar disperso en forma de laminillas lo está en forma de pequeñas esferas), ésta tiene un límite elástico superior y una mayor resistencia al impacto y a la tracción, si bien aún hay muchas tuberías antiguas en servicio de fundición gris.

En España se emplean desde diámetros pequeños hasta valores del orden de 1.800 mm y presentan un excelente comportamiento ante la presión hidráulica interior, pudiendo resistir presiones interiores muy elevadas (hasta 40 bar). En otros países (Francia, por ejemplo) su campo de empleo es mayor, utilizándose hasta diámetros de 2.000 mm.



Revestimientos convencionales en las canalizaciones de fundición en abastecimientos

Las uniones entre los tubos suelen ser con juntas flexibles con anillo elastomérico, si bien también es posible el empleo de juntas rígidas de bridas. Hay una gran cantidad de piezas especiales o accesorios (codos, conos, tes, etc.) en este material, disponibles en el mercado, lo que facilita su instalación.

Existe una versión para las redes de aguas regeneradas destinadas al riego de parques y jardines y baldeo de calles. Tiene revestimiento exterior de zinc y barniz epoxi morado, Presenta así un acabado que asegura la identificación de redes de agua regenerada.

Otro producto es la tubería de fundición dúctil, fabricada según el procedimiento de centrifugación con revestimiento interior cerámico, compuesto de resina epoxy de dos componentes con cuarzo, que una vez curado forman un conjunto termoestable. Sus ventajas son: menor coeficiente de rozamiento, por su interior totalmente liso, alta resistencia a las reacciones químicas, adecuada para aguas de PH 1 a PH 14. Por ello es útil para instalaciones de saneamiento, impulsiones, instalaciones de consumo humano, y en desaladoras, por su gran resistencia a la abrasión.

Los fabricantes ofrecen los productos adecuados para reforzar la protección de las canalizaciones en los casos de condiciones extremas de agresividad del terreno. Para ello deben examinar la naturaleza de los terrenos atravesados con el fin de proponer la solución mejor adaptada a cada caso.

Al ser tuberías metálicas, son susceptibles de sufrir los efectos de la corrosión, lo que obliga a tenerlas que proteger mediante revestimientos interiores y exteriores, los cuales se aplican en fábrica. La manga de polietileno es una película de polietileno de baja densidad, que se enfunda recubriendo la canalización en el momento de colocarla. Se utiliza como complemento del revestimiento de base de las tuberías (zinc metálico + barniz bituminoso) en los casos de alta corrosividad de los terrenos, cuando existen corrientes vagabundas y en general en todos aquellos terrenos que por su calidad así se requiera.

El sistema de protección TT (tubos, accesorios y accesorios de junta) está indicado para los suelos muy corrosivos (suelos marinos, turberas,...). Es un revestimiento aplicado en fábrica para la tubería: revestimiento espeso de polietileno (DN<500) o en poliuretano (600<DN<2000). Para los accesorios es revestimiento de empolvado epoxy.

Cuando hay riesgo de helada, se ofertan canalizaciones preaisladas que tienen por objeto asegurar el aislamiento térmico de las redes particularmente expuestas a riesgos de heladas. Se trata de canalizaciones de fundición dúctil provistas de un aislamiento térmico aplicado en fábrica. Las características mecánicas y de estanqueidad son las mismas que las del resto de las canalizaciones de fundición dúctil.

6. CONDUCCIONES DE ACERO

Pueden ser de acero soldado longitudinalmente o con soldadura helicoidal. Son, como los anteriores, del tipo metálico, si bien en este caso la proporción de carbono es mucho menor. Hay disponibles en el mercado una gran variedad de aceros de manera que las propiedades mecánicas de unos y otros son diferentes. Combinando el tipo de acero y el espesor de la chapa (que son muchos

los valores posibles) se puede hacer un dimensionamiento a la medida de las necesidades de cada proyecto en particular.

Su empleo habitual es el de los diámetros elevados (de 0,8 m a 3 m) y las altas presiones (hasta 40 bar). Las uniones entre tubos suelen ser soldadas.

Al igual que los tubos de fundición, presentan riesgo de sufrir problemas de corrosión, lo que obliga a tener que proteger las tuberías con revestimientos interiores y exteriores, e incluso, en este caso, en ocasiones, con sistemas de protección catódica.

El revestimiento de tubos de acero suele ser de polietileno (PE) y se ejecuta en una instalación que opera según el procedimiento de extrusión lateral. El proceso de revestimiento supone los siguientes pasos:

1. Precalentamiento del tubo para eliminar la humedad ambiental.
2. Granallado, se obtiene un grado de limpieza requerido por la norma DIN 30670
3. Calentamiento del tubo a la temperatura de revestimiento necesaria (180 a 215 °C)
4. Recubrimiento electrostático de imprimación epoxi en un espesor de 50 micras.
5. Revestimiento adhesivo de copolímero de etileno, por extrusión de masa fundida.
6. Sobre el adhesivo fundido se aplica el revestimiento de PE por extrusión lateral.
7. Enfriamiento del revestimiento, en un trayecto de refrigeración por agua.
8. Posteriormente se realiza la limpieza de extremos y se verifica el revestimiento por medio de un detector, para comprobar que carece de poros.
9. Aceptado el tubo, continúa el proceso de granallado y pintado interior.

7. CONDUCCIONES DE MATERIALES TERMOPLÁSTICOS

Los tubos de materiales termoplásticos han sufrido un gran desarrollo en los últimos años, apareciendo nuevos materiales y evolucionando los tradicionales (especialmente el polietileno). Tienen las ventajas de que son ligeros, económicos, flexibles, si bien debe tenerse precaución pues sus propiedades mecánicas pueden disminuir con el paso del tiempo (regresión) lo que debe tenerse en cuenta en su diseño.

Policloruro de Vinilo (PVC-U)

Los tubos de policloruro de vinilo no plastificado (PVC-U) están formados por extrusión a partir de resinas de PVC-U, lubricantes, estabilizantes y colorantes, debiendo estar exentas de plastificantes y cargas. No se emplean para diámetros superiores a 500 mm ni presiones superiores a 16 bar.

Otro material es el PVC orientado. Los tubos de PVC-O se obtienen a partir de uno de PVC-U reorientando su estructura molecular de forma que el producto resultante tenga un mejor comportamiento mecánico. Se emplean en diámetros hasta 400 mm y presiones hasta 25 bar.

Polietileno (PE)

Los tubos de PE, están formados por una resina de polietileno, lubricantes, estabilizantes y colorantes. Los distintos tipos de PE antes se denominaban de alta, media o baja densidad (HDPE, MDPE ó LDPE respectivamente) y ahora se llaman: PE100, PE80, PE63 ó PE40, en función de la resistencia del material.

Su campo de empleo es algo superior al de los tubos de PVC (diámetros hasta 1.000 mm para presión de 10 bar de 500 mm para presiones hasta 20 bar). La unión de estos tubos es por soldadura.

8. CONDUCCIONES DE PRFV

Se ha optado por diferenciar el PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio) del resto de los plásticos al ser éste un material termoestable debido a la adición de la fibra de vidrio. Estos tubos están formados por la unión íntima de una resina (poliéster) como elemento ligante y de fibra de vidrio como material de refuerzo.

Su campo de uso habitual es el de los diámetros medios y grandes (de 0,5 a 3 m) y las presiones intermedias (16 ó 20 bar). Los sistemas de unión habituales son bien mediante un manguito o bien con enchufe y campana, en ambos casos con doble anillo elastomérico. La velocidad máxima del fluido en el interior de una tubería de PRFV utilizando agua limpia puede alcanzar más de 4 m/s.

9. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Seleccionar cuál es el material más adecuado en un proyecto determinado es una cuestión compleja que depende de los siguientes factores: tecnológicos, económicos, logísticos y otros.

a) Tecnología:

Los requisitos técnicos básicos que un tipo de tubería debe cumplir para ser admisible en un caso concreto son: que tenga capacidad hidráulica suficiente (diámetro) y que resista las principales acciones solicitantes (presión hidráulica interior, empuje de las tierras, tráfico, etc.). Así, para cada aplicación ya se hace una selección previa de los materiales susceptibles de ser utilizados.

b) Economía:

Es un factor decisivo en la selección del material, pues, en rigor, lo adecuado es seleccionar la alternativa más económica de entre las tecnológicamente posibles.

Deben tenerse en cuenta todos los costes asociados a la instalación de la conducción, no sólo los de la propia tubería. Así, aunque un tubo de determinado material sea en sí mismo más caro que otro, puede resultar que requiera menos uniones y más económicas, un menor movimiento de tierras, etc., lo que podría hacer que la tubería instalada más barata.

Otros costes que pueden orientar hacia el uso de un material son los del transporte. Así, la distancia entre fábrica y obra o el modo de transporte (barco, camión) es determinante. También, puede ser importante la necesidad de recurrir a transportes especiales.

Además de los costes de instalación, deben considerarse los costes durante el servicio. Éstos se deben tanto al mantenimiento (por ejemplo, la protección catódica supone unos costes periódicos) como a la reparación de posibles averías. También tiene importancia la vida útil del material instalado, pues cuanto menor sea ésta antes habrá que renovarlo.

c) Logística:

Las cuestiones logísticas tienen importancia en la selección del material de la conducción. Puede ocurrir que técnica y económicamente sea deseable un determinado material, pero que no haya capacidad suficiente de fabricación, lo que impida su empleo.

d) Otros factores:

Además de los factores citados, hay otros motivos que afectan a la selección del material de una conducción. Por ejemplo, la experiencia del explotador, pues si un operador está acostumbrado a trabajar con un material, el personal técnico y operario de la compañía está familiarizado con él y domina su tecnología, lo que es un motivo para la utilización de ese material frente a otros alternativos cuando las diferencias no sean excesivas.

Otro motivo a favor del uso de un determinado material por parte de un operador es que las redes existentes sean mayoritariamente de ese material. En este caso (además de las

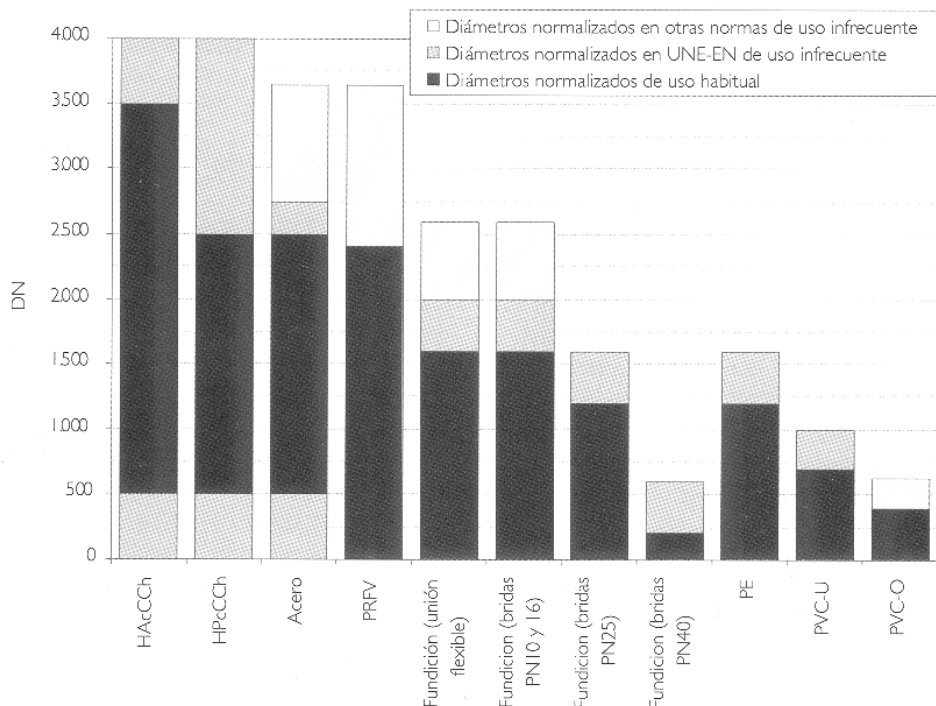
razones de experiencia) la existencia y optimización de los repuestos y acopios pueden también aconsejar de nuevo el uso de ese material frente a otras opciones.

Más condicionantes que pueden incidir en la selección del material pueden ser cuestiones de índole política (interés en fomentar el uso de un material por beneficios indirectos que puedan producirse), medioambientales (evitar el uso de materiales que produzcan una contaminación excesiva), sociales (interés en potenciar el desarrollo de una determinada fábrica para dinamizar una región), etc.

En ocasiones, algunas instituciones han propuesto algunos criterios prácticos de selección de las conducciones en función de uno o dos parámetros. Por ejemplo, en este campo, en la Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión del CEDEX (2003) se incluyen unos ábacos que representan unos límites habituales de utilización de cada tipo de tubo en la actualidad en España.

A continuación se representan tales límites en función de su diámetro. Las utilizaciones posibles resultantes de tales ábacos se estructuran en tres categorías diferentes:

- Utilización normalizada y de uso habitual en España
- Utilización normalizada por normas europeas de uso infrecuente
- Utilización normalizada en otras normas (ISO, AWWA, etc.) de uso infrecuente



Diámetros normalizados (de uso habitual o infrecuente) en los diferentes tubos (CEDEX, 2003)

Cada tipología de tubería tiene sus propias normas de referencia que los productos de calidad deben cumplir. En España, en el ámbito específico de las canalizaciones, se debe cumplir con lo especificado en la norma UNE-EN-805:2000 “Abastecimiento de agua. Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes” que determina la denominación de presiones, diámetros y características generales de las tuberías.

10. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

La corrosión

La corrosión es un fenómeno típico de los materiales metálicos, caracterizado por el ataque que sufren debido a la acción del medio en el que se utilizan (atmósfera, agua, terrenos, etc.), produciéndose en el proceso reacciones químicas o electroquímicas.

La corrosión química es bastante infrecuente y se produce cuando el metal reacciona con un medio no iónico (por ejemplo, es el caso de la oxidación en el aire a altas temperaturas). La corrosión que se produce usualmente en las conducciones metálicas debido al agua, a la atmósfera o a los suelos es del tipo electroquímico, la cual necesita la coexistencia de tres factores: un ánodo, un cátodo y un electrolito.

El ánodo es el elemento donde tienen lugar las reacciones de oxidación y por él sale la corriente. Es el que se oxida, el que sufre la corrosión, el que, en suma, se destruye o altera. El cátodo, por su parte, es donde se producen las reacciones de reducción y por él entra la corriente permaneciendo inalterado. El electrolito es el medio por el que circula el flujo de electricidad desde el ánodo hacia el cátodo.

Los fenómenos de corrosión pueden manifestarse en una determinada estructura de manera uniforme o puntual. En el primer caso (por ejemplo una tubería de acero sin ninguna protección) el ataque se extiende por igual por toda la superficie, disminuyendo de manera progresiva su espesor y, en consecuencia, perdiendo propiedades mecánicas. En el fondo es el tipo de corrosión menos peligrosa, pues, por un lado, es un fenómeno lento (algunas micras/año) y, además, con sencillos ensayos se puede predecir la vida útil de la estructura. No obstante, no es recomendable en absoluto utilizar un metal sin ninguna protección, dejándolo a corrosión libre. De hacerlo, deberían sobredimensionarse de manera considerable los espesores.

La corrosión puntual o por picaduras implica la existencia de una pequeña zona anódica frente a una catódica grande. La corrosión se concentra en la zona anódica hasta llegar, en caso extremo, a la

perforación del metal. Suele ser un fenómeno rápido, más peligroso e incontrolable que el anterior. Un ejemplo típico de este tipo de corrosión es la rotura local de los revestimientos pasivos que cubren las conducciones metálicas.

Las tuberías de materiales metálicos, en general, son susceptibles de sufrir básicamente los tres siguientes fenómenos:

- Agresividad atmosférica. Implica una oxidación de la superficie de los tubos al estar éstos sometidos a la intemperie (corrosión atmosférica). Esto afecta naturalmente a las conducciones instaladas al aire y también a las enterradas durante las operaciones de transporte, almacenamiento y manipulación antes de su instalación definitiva. 157
- Agresividad del agua. Implica una corrosión de la superficie interior el tubo cuando la canal esté en servicio debido a la agresión del fluido transportado.
- Agresividad del suelo. Implica una corrosión de la superficie exterior del tubo cuando la canalización se instala enterrada en suelos corrosivos.

Otros posibles problemas de corrosión que pueden aparecer en los tubos de materiales metálicos (aunque menos frecuentes) son los debidos a las conocidas como corrientes vagabundas, las cuales refieren a aquellas corrientes que circulan por el suelo y por el agua fuera de los circuitos previstos. La corriente eléctrica busca siempre los recorridos de menor resistencia, razón por la cual discurre fácilmente por las estructuras metálicas enterradas. Las fuentes clásicas que originan estas corrientes son, por ejemplo, los ferrocarriles electrificados, los tranvías, el transporte urbano subterráneo, el transporte por corriente continua o las instalaciones de protección catódica por corriente impresa.

Una de las características diferenciadoras de las fundiciones frente al resto de aleaciones férricas es su alto contenido en carbono (del orden del 2 % al 4 % en peso frente al acero en el que oscila entre el 0,2 % y el 1 %), así como su composición gráfitica, lo que hace que sean aleaciones de potencial electroquímico más próximo al de pasividad. Todo ello determina que las estructuras de fundición presenten una buena resistencia a la corrosión, lo que explica su longevidad, diferenciándose en este aspecto de los citados aceros, sensibles a la corrosión.

De este modo, en instalaciones aéreas, en principio, podrían instalarse las tuberías de fundición sin ninguna protección sin apenas riesgo de corrosión. En instalaciones enterradas hay que tener más precauciones, pues rodeando a la canalización nos podemos encontrar suelos altamente agresivos que sí produzcan problemas de corrosión.

No obstante, para prevenir posibles problemas de corrosión debido a los suelos o al agua en contacto con las canalizaciones de fundición, se han desarrollado numerosas soluciones a base de revestimientos pasivos que garantizan una seguridad completa de las conducciones de fundición ante el fenómeno de la corrosión. En los siguientes apartados se profundiza sobre todo ello.

Protecciones en las tuberías metálicas

En general, los posibles sistemas de protección de las tuberías metálicas contra la corrosión son, básicamente, bien el recubrimiento mediante revestimientos (protecciones pasivas) o bien la protección catódica (que sería una protección activa).

La protección catódica de una estructura, en cualquier caso, se aplica complementariamente a la protección mediante revestimientos, pues la sola protección catódica no posibilita alcanzar para una estructura de metal desnuda de gran dimensión el potencial de protección requerido. La protección catódica de una conducción metálica consiste en su polarización negativa respecto al medio donde se encuentra mediante una corriente externa. Básicamente, los sistemas de aplicación son:

- **Ánodos de sacrificio (ánodos galvánicos).** En este caso, la tubería a proteger se conecta a un metal más electronegativo que el del propio tubo, formando una pila y consiguiendo así, con el sacrificio del metal añadido, proteger el metal de la tubería. Como ánodos o electrodos de sacrificio se emplean algunas aleaciones de magnesio, zinc o aluminio, que se funden normalmente con formas cilíndricas o trapezoidales. Estos ánodos van enterrados y se rocían de una mezcla activadora que evita la pasivación del ánodo y disminuye su resistencia a tierra. La mezcla activadora suele estar compuesta por yeso, bentonita y sulfato sódico.
- **Fuentes de corriente impresa.** Este procedimiento se basa en que un rectificador fuerce la salida de corriente continua hacia el suelo a través de un lecho de ánodos, actuando la tubería como cátodo y recibiendo corriente continua del suelo que la rodea. Los ánodos son, en general, de grafito, ferrosilicio, titanio activado con platino o mezcla de óxidos metálicos o, en algunos casos cada vez menos frecuentes, de acero. El contacto de los ánodos con el suelo suele mejorarse utilizando rellenos de grafito, coque de hulla y coque de petróleo calcinado.

Para drenar las corrientes vagabundas se pueden utilizar equipos de "drenaje polarizado" o unidireccionales, que consisten en establecer una conexión entre la tubería y el carril del ferrocarril electrificado que únicamente permita el flujo de la corriente en el sentido de la tubería a la vía a través del cable, evitando así las salidas de corriente de la tubería al suelo. Estos equipos de

drenaje polarizado incluyen un rectificador en la conexión unidireccional entre la tubería y la vía del ferrocarril electrificada.

En cualquier caso, los sistemas de protección catódica requieren de operaciones de mantenimiento para asegurar su eficacia contra la corrosión de las tuberías y la participación de personal especializado.

La protección mediante revestimientos pasivos es mucho más sencilla que todo lo anterior, pues los mismos actúan como una simple barrera física separando el metal del entorno corrosivo. Su eficacia depende de su continuidad (que no tengan picaduras ni roturas), de su capacidad para mantener una resistencia eléctrica elevada y de su impermeabilidad. En consecuencia, estos revestimientos pasivos deben tener un espesor capaz de garantizar las anteriores propiedades (variable según la naturaleza de cada uno).

Una característica diferenciadora de ambos tipos de protecciones (revestimientos pasivos frente a activos), es que la protección catódica requiere, para ser efectiva, que la conducción a proteger sea eléctricamente continua. Esta condición implica que las juntas entre los tubos hayan de ser soldadas, pues el resto de uniones no proporcionan la continuidad eléctrica necesaria.

Por ello, uno de los componentes básicos de los revestimientos convencionales de los tubos de fundición dúctil es una capa de zinc metálico que, en cierta manera, es una forma de protección catódica “in situ” individual de cada tubo.

Protecciones en las tuberías de hormigón

La tubería de hormigón, por la pasivación que éste produce en los aceros es de por sí una de las mejores protecciones posibles frente a agentes externos. En ella acero se encuentra en un medio con un pH claramente alcalino (aproximadamente 12,5) en estas condiciones el acero tiene un potencial respecto al electrodo de referencia Cu-SO₄Cu saturado del orden de -300 mV, potencial en el que el acero se encuentra en estado de pasivación, es decir, totalmente estable y sin corrosión (protegido por una capa resistente de hidróxido ferroso). En casos normales no es precisa ninguna protección más.

En terrenos altamente agresivos, con contenidos elevados de sulfatos y/o cloruros, debe aumentarse el grado de protección, empleando cementos especiales, resistentes a estos compuestos, pudiendo siempre complementarse la protección con pinturas.

En terrenos con presencia de corrientes parásitas deben disponerse drenajes eléctricos.

En terrenos susceptibles de formar pilas naturales por heterogeneidad eléctrica de las capas atravesadas por la conducción, es conveniente cortar la continuidad eléctrica de la tubería, disponiendo junta elástica entre tubos.

La protección catódica, especialmente si está sobredimensionada, puede perjudicar a la tubería y a las estructuras o cimentaciones aledañas. Ponerla como sistema preventivo, sin conocer ni tener cuantificada su necesidad, está totalmente contraindicado. Su uso debe reducirse a casos de tuberías antiguas, sólo cuando la corrosión provenga de un ataque electrolítico. Solo se instalará cuando esté clara su necesidad, partiendo de un estudio geológico serio del terreno, realizado a ser posible por empresa no relacionada con instaladores de sistemas de protección.

Los límites considerados a partir de los cuales hay que tomar medidas adicionales así como las medidas a tomar se detallan en el manual de AEAS y en la instrucción del IETCC que señalan los siguientes casos:

1. Zonas con alto contenido en sulfatos
2. Zonas con alto contenido en cloruros
3. Suelos con carácter marcadamente ácido
4. Suelos con resistividad baja
5. Existencia de corrientes vagabundas
6. Conexión a otras conducciones

11. BIBLIOGRAFÍA

- Guía Técnica sobre Tuberías para el transporte de agua a presión. (CEDEX) 2003.
- Recomendaciones sobre tuberías de hormigón armado en saneamiento. (CEDEX) 2006.
- Manual ATHA.
- Manual de tubos de PE. Luís Balairón. (CEDEX, ASETUB).
- Manual de tubos de PVC-U (ASETUB).
- Manual de Corrosión y Protección de Tuberías (AEAS) 2001.
- Instrucción del I. Eduardo Torroja para tubos de hormigón armado o pretensado. 1980.
- Canalizaciones de fundición dúctil. Luís Balairón. Madrid, 2006.
- Manual de URALITA, Tomo II. Editorial Paraninfo. Madrid.

- P.P.T.G. para tubería de abastecimiento de agua. M.M.A. 2005.
- P.P.T.G. para tubería de saneamiento en poblaciones. M. Fomento.
- ESCRIBÁ BONAFÉ, D., Hidráulica para Ingenieros. Editorial Bellisco. Madrid 1988.
- FERRERO, J., Tratado de Hidráulica. Editorial Alhambra. Madrid 1980.
- GILES, R. V., Mecánica de los Fluidos e Hidráulica. Editorial McGrawHill. Madrid 1994.
- HERNÁNDEZ MUÑOZ, A., Abastecimiento y Distribución de Agua. Madrid 1987.
- MATAIX, C., Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. Ed. del Castillo. Madrid 1986.
- MAYOL, J.M., Tuberías, Tomos I y II. Editores Técnicos Asociados. Barcelona 1982.
- MENDILUCE, E., El golpe de ariete en impulsiones. Editorial Bellisco. Madrid 1990.
- OSUNA, A., Hidráulica, Mecánica de Fluidos e Hidráulica Técnica. Madrid 1978.
- SOTELO ÁVILA, G., Hidráulica General. Editorial Limusa. México 1991.
- TEMEZ, J., Hidráulica Básica. Escuela de I .T. de Obras Públicas. Madrid 1974.
- TORRES SOTELO, J.E., Hidráulica. UPV. Depto. de Ingeniería Rural. Valencia 1971.

12. ASOCIACIONES RELACIONADAS CON TUBERÍAS

- AEAS (Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Servicios)
- AFTHAP (Asociación de Fabricantes de Tubería de Hormigón Armado y Pretensado)
- ATHA (Asociación Española de Fabricantes de Tubos de Hormigón Armado)
- ACPA (American Concrete Pipe Association).
- FEDECE (Federación Nacional de Entidades y Empresas de Prefabricados y Derivados del Cemento).
- ASETUB (tubos de plástico).