



## Índice

### EL CICLO DEL AGUA

Necesidades y recursos del agua.....	p.3
Aguas destinadas al consumo humano.....	p.6
Aguas agresivas o corrosivas.....	p.7
Diámetro (dimensionado y selección).....	p.9
Perfil longitudinal.....	p.15
Pérdidas de carga.....	p.16

### PRESIÓN Y DESVIACIÓN ANGULAR EN LAS UNIONES

Presión (conceptos).....	p.30
Presión de funcionamiento admisible de tubos y accesorios (bar).....	p.33
Acerrojado.....	p.39
Cálculo de longitudes de acerrojado.....	p.43
Macizos de Anclaje de Hormigón.....	p.45
Coeficientes de seguridad.....	p.48
Golpe de ariete.....	p.49
Desviación angular en las uniones.....	p.52

### ENTORNO DE LAS INSTALACIONES

Terrenos (características mecánicas).....	p.53
Terrenos inestables.....	p.54
Zanja.....	p.56
Agresividad de los suelos.....	p.60
Alturas de Cobertura.....	p.62
Comportamiento ante las cargas.....	p.66

### NORMATIVA Y CALIDAD

Normas de producto y anexos.....	p.68
Materiales en contacto con el agua destinada al consumo humano.....	p.69

### DESARROLLO SOSTENIBLE

Transporte e instalación.....	p.70
Análisis del ciclo de vida.....	p.71
Coste total.....	p.72

# 1 EL CICLO DEL AGUA

## 1.1 NECESIDADES Y RECURSOS DE AGUA

El dimensionamiento de conducciones de agua debe tener en consideración:

- Las necesidades requeridas, estimadas por métodos estadísticos o analíticos
- Los recursos hídricos, evaluados a partir de datos hidrogeológicos e hidrológicos, propios de cada región.

### Evaluación de las necesidades de agua. Cálculo de dotaciones.

#### VOLUMEN

El volumen de agua necesario para la alimentación de un COLECTIVIDAD depende:

- De la importancia y características propias del núcleo a abastecer
- De las necesidades municipales, agrícolas e industriales
- De los hábitos de la población.

En general, se puede prever una cantidad media de agua por habitante/día de:

- 136 litros/habitante/día, siendo este el dato únicamente del consumo doméstico
- 253 litros/habitante/día, siendo este el valor de la dotación total, esto es, cantidad total de agua que necesita la población para su día a día.

(Fuente de los datos INE, 2016)

En todo caso, se deben calcular las redes de transporte y distribución teniendo en cuenta las perspectivas de desarrollo urbano a largo plazo, debiendo asumir posibles crecimientos de la demanda.

La presencia de instalaciones o establecimientos colectivos o de carácter industrial debe también ser tenida en cuenta, pudiendo tomarse como referencia alguno de los valores propuestos a continuación:

- Escuelas y colegios, 100 litros por estudiante y día
- Hospitales, 400 litros por cama
- Mataderos e industrias alimenticias, 500 litros por cabeza de ganado
- Industrias, a estudiar en cada caso según tipología y magnitud.

Deben ser también tenidas en cuenta las reservas frente a incendios requeridos por la administración y reglamentación local en cada caso.

Será siempre recomendable disponer, además, de un margen de seguridad ( $K_{seg}$ ) sobre la cifra obtenida, de manera que puedan ser contempladas las posibles inexactitudes, así como incorporar al cálculo el rendimiento de la red, para asumir las pérdidas que en ellas puedan existir.

El rendimiento de la red de distribución será:

$$r = \frac{\text{Volumen Facturado}}{\text{Volumen sumunistrado}}$$

Resultando, un cálculo de la dotación bruta de agua:

$$\text{Demanda bruta de agua} = \frac{\text{Demanda neta}}{r} \times K_{seg}$$

## 1.1 NECESIDADES Y RECURSOS DE AGUA

### CAUDAL

#### Núcleos de población con gran número de abonados

Las necesidades de caudal deben ser evaluadas en los momentos de máxima demanda diaria y horaria, debiendo la red de distribución estar dimensionada para hacer frente a dichos caudales máximos.

$$Q_p = K_j \times K_h \times \frac{V_{j\text{medio}}}{24} \text{ (m}^3\text{/h)}$$

donde:

$$V_{j\text{medio}} = \frac{V_{\text{anual}} \text{ (m}^3\text{)}}{365} : \text{consumo medio diario en el año}$$

$$K_h = \frac{V_{h\text{max}}}{V_{j\text{max}}} \times 24 : \text{coeficiente de punta horario}$$

$$K_j = \frac{V_{j\text{max}}}{V_{j\text{moyen}}} : \text{coeficiente de punta diaria}$$

$V_{h\text{max}}$ : volumen demandado durante la hora de mayor consumo, el día de mayor consumo (m<sup>3</sup>/hora).

$V_{j\text{max}}$ : volumen demandado el día de mayor consumo del año (m<sup>3</sup>/día).

#### Núcleo de población con bajo número de abonados

En lugar de analizar el número de abonados, las necesidades de caudal pueden ser evaluadas en función del número de aparatos o instalaciones (Lavabos, grifería, cisternas, WC, etc) ponderándose por un coeficiente de simultaneidad de funcionamiento:

$$Q = k \cdot n \cdot q$$

donde:

$q$ : caudal unitario del aparato

$n$ : número de aparatos ( $n > 1$ )

$k$ : Coeficiente de simultaneidad,

$$\text{donde: } k = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \quad (\text{expresión únicamente válida para un número pequeño de aparatos})$$

#### ● Ejemplo simple n°1

##### Hipótesis

- Población semi-rural:

Población actual: 1500 habitantes

Crecimiento poblacional estimado: 1000 habitantes (horizonte 25años)

- Volumen anual facturado: 75 000 m<sup>3</sup>
- Rendimiento estimado de la red:  $r = 75 \%$
- Coeficientes de punta estimados:  $K_j = 2,5$ ;  $K_h = 1,8$

##### Cálculos y resultados

- Volumen anual futuro:

$$V_{\text{afutur}} = 75\,000 + (0,2 \times 1\,000 \times 365) = 148\,000 \text{ m}^3$$

(estimación de consumo diario por habitante: 200l)

## 1.1 NECESIDADES Y RECURSOS DE AGUA

$$K_{\text{población}} = \frac{V_{\text{afutur}}}{V_{\text{aactual}}} = \frac{148\,000}{75\,000} = 1,97$$

- Coeficiente de incertidumbre de datos: 20 % ( $K_{\text{seg}} = 1,2$ )

$$\text{• Demanda bruta anual: } B = \frac{V_{\text{aactual}}}{r} \times K_{\text{población}} \times K_{\text{seg}} = 236\,000 \text{ m}^3$$

$$\text{• Caudal medio diario futuro: } Q_{\text{mdf}} = \frac{236\,000}{365} = 647 \text{ m}^3$$

$$\text{• Caudal punta horaria futuro: } Q_p = K_d \times K_h \times \frac{Q_{\text{mjf}}}{24} = 121 \text{ m}^3\text{/h}$$

En este ejemplo, una canalización de aducción desde la población deberá ser dimensionada para asegurar un caudal de 121m<sup>3</sup>/h, para un horizonte de 25 años.

#### ● Ejemplo simple n° 2

##### Hipótesis

- Inmueble colectivo:

10 apartamentos

7 instalaciones de consumo por apartamento

Caudal medio unitario de cada instalación: 0,1 l/s

##### Cálculos y resultados

Un bombeo dimensionado para tal inmueble, bajo los supuestos indicados deberá impulsar un caudal  $Q = k \cdot n \cdot q$  donde:

$$k = \frac{1}{\sqrt{(7 \times 10) - 1}} = 0,12$$

$$Q = 0,1 \times 70 \times 0,12 = 0,84 \text{ l/s}$$

### Evaluación de los recursos de agua

El agua puede ser captada en profundidad (acuíferos, capas subterráneas) o en superficie (corrientes de agua, lagos, presas, etc)

En cualquier caso, hace falta estudiar de forma precisa las características hidrológicas de la fuente, atendiendo en particular a los regímenes hidrográficos e hidrogeológicos de los puntos de captación, pudiendo encontrarse flujos y caudales muy variables a lo largo de un mismo año.

Se requerirán una serie de medidas, aforos o sondeos sobre las captaciones, así como de ensayos de bombeo bajo los niveles freáticos, en un periodo largo suficiente de tiempo como para permitir determinar estadísticamente la evolución de los caudales, así como los volúmenes de disponibles, siendo de especial interés la determinación de los volúmenes disponibles en periodo de estiaje.

En el caso de un curso o captación de agua en la que el caudal sea insuficiente, durante el periodo de estiaje, podría ser requerida la construcción de una reserva en forma de depósito balsa o presa.

Cuando no se dispongan de resultados o medidas de este tipo, podrá realizarse una aproximación del caudal de cursos superficiales de agua con la ayuda de diferentes métodos de estimación que consideran la topografía, superficie y características de las cuencas vertientes.

## 1.2 AGUAS DESTINADAS AL CONSUMO HUMANO

### Reglamentación europea

Directiva del Consejo de la Unión Europea 2020/2184 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano, del 3 de noviembre de 1998. Modificación.

● El objetivo de la directiva es proteger la salud de las personas de los efectos nefastos de la contaminación de aguas destinadas al consumo humano, garantizando la salubridad de éstas.

Se garantizará la correcta calidad de las aguas confirmando que:

- Las aguas no contienen un número o concentración de micro-organismo, parásitos u otras sustancias que constituyan un daño potencial para la salud de las personas.
- Las aguas son conformes a las exigencias mínimas concernientes a los parámetros descritos por la directiva.

Para esto, se fijan dos grupos de exigencias mínimas:

- Parámetros **microbiológicos** (Escherichia coli, Estreptococos),
- Parámetros **químicos** (cobre, níquel, etc.)

La directiva facilita, igualmente, los parámetros indicadores, destacando:

- conductividad: 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  1 a 20 °C
- concentración de iones de hidrógeno: valores de pH  $\geq 6,5$  y  $\leq 9,5$
- amonio: 0,50 mg/L
- cloruros: 250 mg/L
- sulfatos: 250 mg/L

La directiva estipula las exigencias mínimas que los estados miembros deben reflejar en su reglamentación nacional. Los estados miembros tomarán, además, cualquier medida necesaria para asegurar la salubridad de las aguas destinadas al consumo humano.

## 1.3 AGUAS AGRESIVAS O CORROSIVAS

Las aguas conducidas en redes pueden presentar características físico-químicas muy diferentes. Así, una tipología de agua podrá ser caracterizada por su corrosividad (propensión a atacar metales no revestidos) y su agresividad (contra los materiales con base de cemento). Las canalizaciones **PAM** incorporan revestimientos interiores que les permiten conducir cualquier tipología de agua.

La afección provocada por el agua sobre metales ferrosos y productos con base de cemento depende de numerosos factores: mineralización, concentración de oxígeno, conductividad eléctrica, pH, equilibrio de alcalinidad y carbónico, temperatura, etc

Dos tipos de aguas son las principales a tener en cuenta:

- Aguas corrosivas, que pueden atacar el metal no revestido
- Aguas agresivas, que pueden atacar los materiales con base de cemento

### Aguas corrosivas

#### ● Definición

Ciertas aguas atacan las canalizaciones metálicas si éstas no cuentan con un revestimiento interior. Las reacciones químicas pueden producir óxido ferroso, con la posterior generación de óxido férrico y finalmente la formación de nódulos o tuberculación, que pueden derivar en una disminución de la sección útil de la canalización y un aumento de las pérdidas de carga de manera significativa.



#### ● Realidad del fenómeno

Este fenómeno puede producirse en conducciones antiguas sin revestimiento interior. Hoy en día las tuberías de fundición dúctil de **PAM** están revestidas interiormente con mortero de cemento, poliuretano o DUCTAN\*, que elimina cualquier posibilidad de este riesgo.

\* saber más:

<https://www.pamline.es/nodel1693>

Cabe destacar que los procesos de corrosión generados por las aguas destinadas al consumo humano son un proceso generalmente lento. Las normas de potabilidad y recomendaciones velan por la distribución de aguas no corrosivas y no agresivas, garantizando al mismo tiempo la calidad de las aguas y la protección de las canalizaciones e instalaciones públicas y privadas.

Ver AGUAS DESTINADAS AL CONSUMO HUMANO Página 6

## 1.3 AGUAS AGRESIVAS O CORROSIVAS

### Aguas agresivas

#### ● Definición

La agresividad de un agua se define como la propensión de ésta a atacar materiales con contenido en calcio. En función del análisis químico, la mineralización, el pH y la temperatura del agua conducida, pueden encontrarse tres casos:

- Agua con equilibrio calco-carbónico que no provoca, ni ataque, ni precipitación de carbonato cálcico.
- Agua incrustante con tendencia a depositar sales de calcio (carbonatos...) sobre la pared interior de las canalizaciones.
- Agua agresiva que puede atacar ciertos elementos constituidos por mortero de cemento, con contenido de calcio (cal, silicatos...)

#### ● Medida

La determinación de la agresividad se hace sobre la base de análisis de aguas, ya sea mediante medios gráficos o de ábacos, que permite situar el agua examinada con relación a la denominada curva de equilibrio o referencia. Este medio permite caracterizar al agua, a diferentes temperaturas, y calcular el CO<sub>2</sub> agresivo, así como otros índices característicos como, por ejemplo, el índice de LANGUELIER, que se corresponde con la diferencia entre el pH real del agua y el pH de saturación.

#### ● Realidad del fenómeno

La reglamentación sobre la calidad de las aguas destinadas al consumo humano determina que en todo caso estas no deben ser ni agresivas ni corrosivas. Ver AGUAS DESTINADAS AL CONSUMO HUMANO página 6

En cualquier caso, ante la gran variedad de aguas a transportar, es posible encontrar aguas débilmente mineralizadas (aguas blandas) que pueden atacar a los materiales en contacto con ellas así como aguas corrosivas y/o agresivas.

## 1.4 DIÁMETRO (Dimensionamiento y selección)

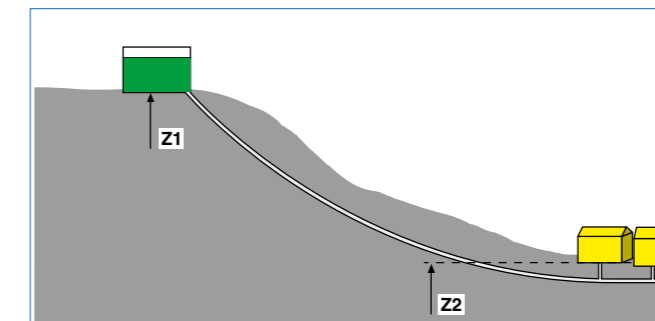
La selección del diámetro y dimensionamiento de una canalización a presión se hace teniendo en cuenta:

- Parámetros hidráulicos (caudal, pérdidas de carga, velocidad) en conducciones por gravedad
- Parámetros hidráulicos y económicos (coste de bombeo, amortización de las instalaciones) en impulsiones.

En función de las condiciones de servicio, se deben cuantificar también otro tipo de afecciones, que influirían en el dimensionamiento, como son, riesgos eventuales de golpes de ariete, cavitación y abrasión, así como protecciones o acciones complementarias que la canalización pudiera requerir.

### Conducción por gravedad

#### Definición



La conducción por gravedad es el modo de conducción que permite, a partir de una reserva de agua, natural o artificial, situada en la cota Z1, alimentar mediante canalización a presión todos los puntos situados en cotas Z2 < Z1, sin aporte alguno de energía.

### Principio de dimensionamiento

#### ● Características de la red

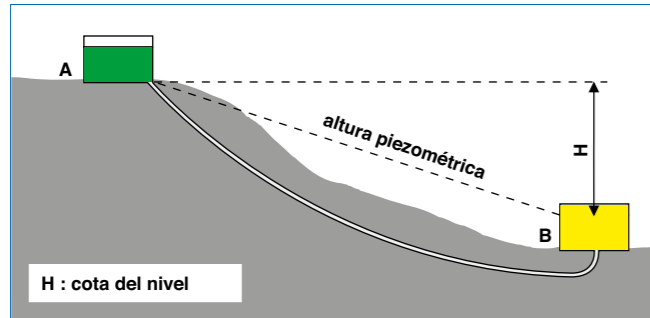
- $Q$  : caudal que responde a las necesidades de la red (m<sup>3</sup>/s)  
 – Caudal de demanda punta o caudal de incendio  
 – Caudal de demanda media
- $j$  : pérdida de carga unitaria (m/m)
- $V$  : velocidad del agua en la canalización (m/s)
- $DI$  : diámetro interior de la canalización (mm)
- $L$  : longitud de la canalización (m)



# 1.4 DIÁMETRO (Dimensionamiento y selección)

## ● Características topográficas

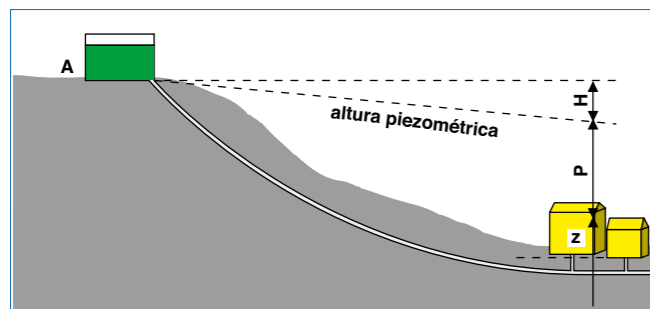
Para realizar el cálculo conviene considerar el caso más desfavorable.



• Conducción desde un depósito A, a un depósito B:

$H = \text{cota del nivel mínimo en A} - \text{cota de nivel máximo en B}$

Por seguridad, debe considerarse el nivel mínimo de reserva del depósito A



• Distribución

$H = \text{Altura correspondiente a la diferencia entre el nivel mínimo en el depósito A y la cota } (z+P)$

$P = \text{presión mínima de distribución en el punto más alto.}$

$z: \text{cota del terreno en el punto de estudio.}$

## ● Fórmulas

Siendo :  $Q = \frac{\pi D^2}{4} \times V$

La fórmula de Darcy tiene la expresión :  $j = \frac{\lambda V^2}{2gID} = \frac{8\lambda Q^2}{\pi^2 g D^5}$

$\lambda$ , que está en función de  $(k, v, DI)$ , deducida de la fórmula de COLEBROOK, donde como aproximación para cualquier canalización podemos tomar,  $k=0,1\text{mm}$  (rugosidad equivalente)

Par más detalles, ver PÉRDIDAS DE CARGA, página 16.

## ● Determinación de DN

La pérdida de carga unitaria máxima es :  $j = \frac{H}{L}$

El DN puede ser determinado :

- Por cálculo, mediante resolución del sistema de ecuaciones que constituyen las fórmulas de DARCY y COLEBROOK, (cálculo por iteraciones)
- Por lectura directa de tablas de pérdidas de carga. Ver PÉRDIDAS DE CARGA (TABLAS) página 18

## ● Ejemplo

Caudal :  $Q = 30 \text{ l/s}$

Longitud :  $L = 4\ 000 \text{ m}$

Presión disponible :  $H = 80 \text{ m}$

$j = \frac{H}{L} = \frac{80}{4\ 000} = 0,02 \text{ m/m} = 20 \text{ m/km}$

La tabla indica que se debería seleccionar el DN150 con :

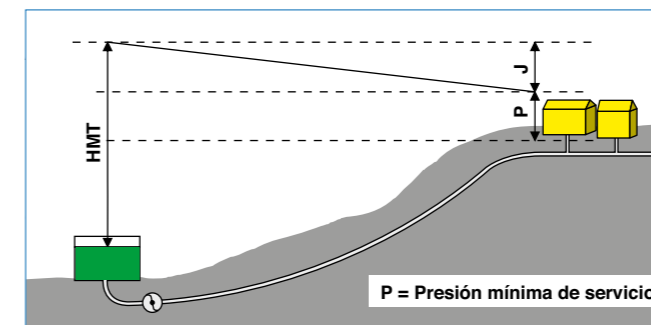
velocidad :  $V = 1,7 \text{ m/s}$

pérdida de carga :  $j = 19,244 \text{ m/km.}$

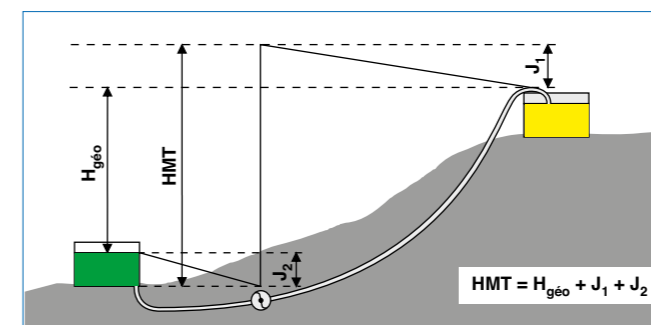
# 1.4 DIÁMETRO (Dimensionamiento y selección)

l/s	DN 150		V (m/s)
	j (m/km)		
	k = 0,03 mm	k = 0,1 mm	
24,00	11,092	12,552	1,36
26,00	12,867	14,627	1,47
28,00	14,766	16,857	1,58
30,00	16,790	19,244	1,70
32,00	18,937	21,787	1,81
34,00	21,208	24,485	1,92
36,00	23,602	27,339	2,04
38,00	26,119	30,348	2,15
40,00	28,785	33,513	2,26
42,00	31,520	36,833	2,38
44,00	34,404	40,309	2,49
46,00	37,409	43,940	2,60

ejemplo de cálculo

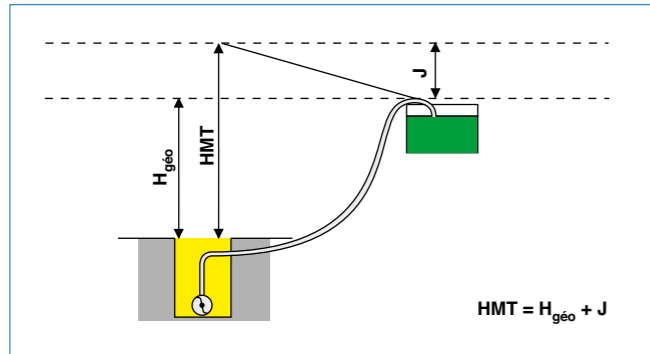


## ● Impulsión con rebombeo



## 1.4 DIÁMETRO (Dimensionamiento y selección)

### ● Impulsión desde sondeo



Es frecuente que las captaciones se encuentren a una altitud insuficiente para disponer de las condiciones de presión requeridas. Es necesario, por tanto, dotar al fluido de energía para hacer posible la distribución.

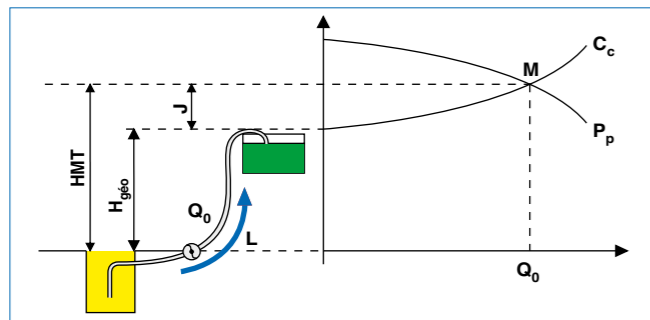
Llamamos :

– **Altura geométrica (H<sub>geo</sub>)** la diferencia de altitud entre la cota de bombeo y la cota de alimentación.

– **Altura manométrica total (HMT)** la altura geométrica incrementada por las pérdidas de cargas totales generadas por la aspiración y la propia conducción.

### Principio de dimensionamiento

#### ● Resolución gráfica



$C_c$  : característica de la canalización  
 $H$  :  $H_{geo} + J$      $J = f(Q^2)$   
 $P_p$  : curva característica del bombeo  
 $M$  : punto de funcionamiento

*Nota :* Planteamiento válido para niveles de aspiración y bombeo constantes. En caso contrario se requiere del estudio de las curvas envolventes.

#### ● Dimensionado hidráulico

Como procedimiento :

$$J = j L$$

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

$\lambda$  est fonction de  $v$ ,  $k$ ,  $D$ .

está en función de  $k, v, D$ .

En el dimensionamiento de impulsiones se requiere tener en cuenta las curvas características de la red y del bombeo, asegurando que, en función del DN seleccionado, el punto de funcionamiento M corresponde con el caudal demandado  $Q_0$ .

## 1.4 DIÁMETRO (Dimensionamiento y selección)

### ● Dimensionamiento económico

El cálculo de diámetro, considerando condicionantes económicos, tiene en cuenta:

- Los costes de bombeo, siendo la potencia de bombeo dada por la siguiente expresión:

$$P = 0,0098 \times \frac{Q \times HMT}{r}$$

donde:

$P$  : potencia a suministrar por el bombeo (kW)

$Q$  : caudal (l/s)

$HMT$  : altura manométrica total (m)

$r$  : rendimiento del bombeo,

- La amortización de las instalaciones (estación de bombeo y canalización).

Pudiendo optarse por dos metodologías de cálculo, según la importancia del proyecto.

### Aplicación

#### ● Pequeños proyectos

Se aplica la fórmula de VIBERT, válida para diámetros pequeños y medianos, y pequeñas longitudes de bombeo:

$$D = 1,456 \left( \frac{ne}{f} \right)^{0,154} \times Q^{0,46}$$

donde:

$D$  : diámetro económico

$f$  : precio de la conducción instalada en €/kg

$Q$ : en  $m^3/s$

duración del bombeo en  $h$

$$n = \frac{\text{duración del bombeo en } h}{24}$$

$e$  : precio del kWh en €

#### ● Grandes proyectos

Para grandes longitudes y diámetros importantes, se requiere realizar un estudio económico detallado. El diámetro seleccionado será aquel correspondiente al que genera un coste anual mínimo (amortización de la inversión + coste de bombeo).

Es destacable que la velocidad en estas conducciones varía de forma importante entre diferentes diámetros.

Además de las pérdidas de carga, es conveniente verificar la compatibilidad y funcionamiento del bombeo con los fenómenos eventuales:

- Golpes de ariete
- Cavitación
- Abrasión

## 1.5 PERFIL LONGITUDINAL

La presencia de aire en las conducciones genera problemas importantes en las canalizaciones a presión, pudiendo originar:

- Una reducción del caudal circulante
- Pérdidas de carga
- Pérdidas de rendimiento en bombeos
- Ampliación de los fenómenos transitorios
- Error en los sistemas de medida

La presencia de aire, y con ella estos efectos negativos, pueden ser minimizados o eliminados mediante consideraciones tomadas en el diseño del perfil longitudinal.

### Origen del aire en las canalizaciones

La introducción de aire en las canalizaciones puede tener lugar, principalmente:

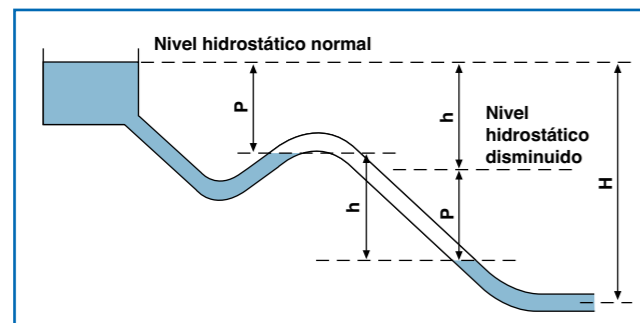
- Durante el llenado las canalizaciones, común en la prueba de presión de la tubería, derivada de un dimensionamiento insuficiente de elementos de purga y aireación.
- En las inmediaciones de filtros, si las uniones y sellados de las bombas son deficientes, y no del todo estancos.
- Por disolución en el agua a presión y desgasificación posterior cuando la presión disminuye.

El aire originado tenderá a acumularse en los puntos altos del perfil.

### Efecto del aire en las canalizaciones

La presencia de aire es, por tanto, contraproducente en el funcionamiento de las canalizaciones a presión. Las bolsas de aire se concentran en los puntos altos, alterándose los niveles de sus extremos por acción de la presión de aguas arriba.

#### ● Conducción por gravedad

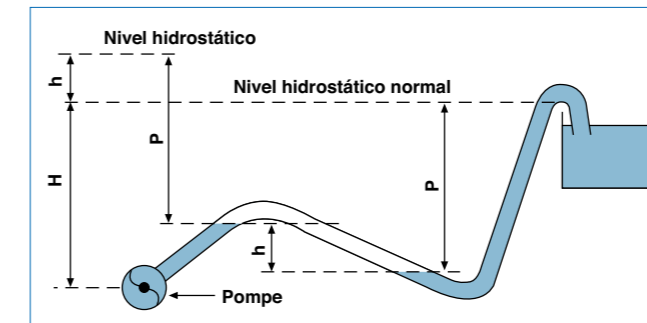


La bolsa de aire transmite en su sección aguas-abajo la presión estática  $P$  que se provoca sobre la cara aguas-arriba, el nivel hidrostático disminuido.

En un análisis dinámico, se puede concluir que las turbulencias dadas en este tramo, producirán esta pérdida de carga, existiendo de forma paralela una caída del caudal provocada por la disminución de sección.

## 1.5 PERFIL LONGITUDINAL

#### ● En una impulsión



De la misma forma que en las conducciones por gravedad, la presencia de una bolsa de aire provoca efectos contraproducentes sobre el buen rendimiento de una instalación por impulsión. En este caso, el aumento de la presión  $h$  (altura  $h$  de la columna de agua suplementaria a elevar) que la bomba deberá suministrar por encima del valor  $H$ , para compensar el aumento de la pérdida de carga generada por la bolsa de aire. Para un mismo caudal se produce, por

tanto, una pérdida de energía de proporciones similares a las pérdidas mencionadas.

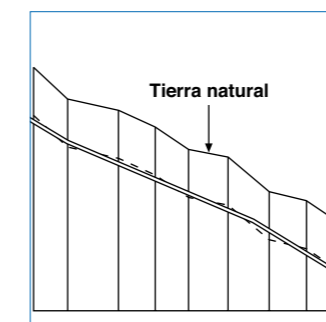
Por otra parte, en aquellas conducciones donde la presencia de aire se origine por dimensionamiento insuficiente de los equipos de purga y aireación, estos inconvenientes se repetirán en cada uno de los puntos altos existentes en la canalización. Sus efectos se suman, generando una reducción general del rendimiento de la instalación. Esta disminución es, en ocasiones, atribuida a otras causas, tales como una pérdida del rendimiento de los equipos de bombeo o deterioro de las tuberías. Siendo necesario, y suficiente, la purga de la conducción de manera correcta para que recupere los niveles normales de capacidad y pérdida de carga.

Por tanto, el riesgo de presencia de bolsas de aire importantes está ligado a la presencia de puntos altos en la canalización. Su generación, la posibilidad de golpes de ariete, derivados de movimientos bruscos de las mismas y de su posibilidad de cambio de volumen.

En conclusión, si los puntos altos no son purgados de forma habitual y correcta se pueden generar:

- Reducciones de caudal
- Pérdidas de energía
- Golpes de ariete y efectos transitorios

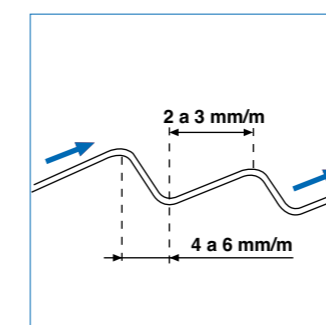
### Recomendaciones prácticas



El trazado de la canalización debe diseñarse de manera que facilite la concentración de aire en puntos altos bien determinados, donde deben ser instalados equipos de aireación con un dimensionamiento suficiente para hacer frente a la previsión del volumen de aire a concentrar.

Conviene tomar las siguientes consideraciones:

- Dar pendiente suficiente a la tubería para facilitar el movimiento del aire hacia arriba (la conducción ideal sería aquella que mantuviera una pendiente constante, siendo el valor mínimo de pendiente de 2 a 3 mm/m)
- Evitar, en la medida de lo posible, cambios de pendiente continuados, motivados por seguir el relieve natural del terreno, sobre todo en conducciones de grandes diámetros.



- Cuando el perfil sea horizontal, crear, en la medida de lo posible, puntos altos y bajos artificiales, con la finalidad de obtener pendiente en dichos tramos:

- 2 a 3 mm/m en los tramos de subida
- 4 a 6 mm/m en los tramos descendentes

En perfiles semejantes, una buena práctica es forzar velocidades bajas en los tramos de subida de caudal, y velocidades rápidas en los tramos de bajada, forzando el reagrupamiento de las bolsas de aire en puntos altos.

- En perfiles accidentados se recomienda:

- La disposición de una ventosa, convenientemente dimensionada, en los puntos altos
- La disposición de un desagüe, convenientemente dimensionado, en cada punto bajo.



## 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA

Las pérdidas de carga son pérdidas de energía hidráulica debidas, principalmente, a la viscosidad del agua y al contacto de ésta con las paredes internas de las canalizaciones.

Por lo que provocan:

- Una caída de las presiones disponibles en las salidas de una conducción por gravedad.
- Un coste energético suplementario en los equipo de bombeo de las impulsiones.

En el caso de las canalizaciones de fundición dúctil revestidas de mortero de cemento, para la selección y dimensionamiento, debe considerarse un coeficiente de rugosidad de 0,03mm. Por su parte, en aquellas tuberías de fundición dúctil, revestidas con compuestos poliméricos (DUCTAN, PUR o PH1), el valor es de 0,018mm.

### Fórmulas

#### ● Fórmula de DARCY

La fórmula de DARCY es la fórmula general para el cálculo de pérdidas de carga::

$$J = \frac{\lambda}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{8 \lambda Q^2}{\pi^2 g D^5}$$

J : Pérdidas de carga (en m.c.a. por m de tubo)

$\lambda$  : coeficiente de pérdidas de carga

D : diámetro interior del tubo (en m)

V : velocidad del fluido (en m/s)

Q : caudal (m<sup>3</sup>/s)

g : aceleración gravitacional (en m/s<sup>2</sup>)

#### ● Fórmula de Colebrook-White

La formula de COLEBROOK-WHITE es universalmente utilizada para determinar el nivel de pérdidas de carga:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 D} \right)$$

$$Re = \frac{VD}{\mu} \text{ (Número de REYNOLDS)}$$

$\mu$  : viscosidad cinemática del fluido a la temperatura de funcionamiento (en m<sup>2</sup>/s)

k : rugosidad de la superficie equivalente, de la pared interna del tubo, (en m); es importante destacar que no es igual a la altura de las irregularidades de la superficie, sino de una dimensión ficticia relativa a la rugosidad de superficie, de ahí el término "equivalente".

- El primer término  $\left( \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$ , estima las pérdidas de carga debidas a los rozamientos interiores del fluido sobre sí mismo;

## 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA

- El segundo término  $\left( \frac{k}{3,71 D} \right)$ , estima las pérdidas de carga debida a las pérdidas de carga causadas por el

contacto entre el fluido y las paredes interior del tubo, para tubos idealmente lisos (k=0) este término sería cero, anulando tal componente de la pérdida de carga, y ligándola, únicamente, a la pérdida generada por el propio fluido en el primer término.

#### ● Fórmula de Hazen-William

$$V = 0,355 C_D^{0,63} J^{0,54}$$

C : coeficiente dependiente de la rugosidad y del diámetro del tubo

### Rugosidad de los revestimientos interiores de mortero de cemento

Los revestimientos interiores de mortero de cemento vibro-centrifugado, propios de las tuberías de fundición dúctil, disponen de una superficie extremadamente lisa y regular. Sobre ellos, se realizan una serie de ensayos para evaluar el valor k de la rugosidad superficial, obteniéndose un valor medio de 0,03mm, que se corresponde con una pérdida de carga suplementaria de entre el 5% y el 7% (según el diámetro del tubo) en comparación con un tubo ideal de perfectamente liso, con un valor de k=0 (para un cálculo con velocidad de 1m/s).

En cualquier caso, la rugosidad de la superficie equivalente de una canalización no depende, únicamente, de la rugosidad de la superficie interna del tubo, sino también, y aún en mayor medida, del número de codos, tés, acometidas, válvulas e irregularidades de perfil y trazado que puedan encontrarse en la instalación y que generan pérdidas de carga localizadas.

Sobre este punto, podemos hacer tres apreciaciones sobre las pérdidas de carga generadas en una canalización a presión en funcionamiento:

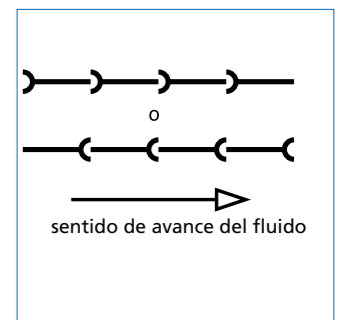


Las pérdidas de carga corresponden a la energía que es necesaria proporcionara para que circule el agua en la canalización, y es generada por la **suma de 3 factores**:

- a - El rozamiento del agua con ella misma (ligado a la viscosidad)
- b - El rozamiento del agua con las paredes del tubo (ligada a la rugosidad)
- c - Las modificaciones locales sobre las condiciones del fluido (codos, derivaciones, reducciones, etc)



La **pérdida de carga ligadas a la viscosidad (A)**, es el valor más elevado de todos los presentes. Podemos contabilizar las pérdidas originadas por la rugosidad de las paredes (B) en un valor máximo del 7% sobre las pérdidas totales, para un tubo de fundición con revestimiento de mortero de cemento. Las pérdidas de carga localizadas (C), juegan también un papel menor en comparación con las magnitudes alcanzadas por el primer término (A). Es por ello que la afección de las campanas de las tuberías de fundición puede despreciarse, sin importar el sentido de circulación del agua.



El **diámetro interior real de una canalización juega un papel considerable**:

- Para un caudal dado, cada % de menos sobre el diámetro se transforma en un 5% más de pérdidas de carga
- Para una presión determinada, cada % de menos sobre el diámetro se transforma en un 2,5% menos de caudal obtenido.

## 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA

### Evolución en el tiempo

Una serie de sondeos y toma de datos, realizada en Estados Unidos, sobre canalizaciones antiguas de fundición revestida con mortero de cemento, ha permitido obtener valores de C (según la fórmula de HAZEN WILLIAMS) que permiten la evolución de este parámetro para una amplia gama de diámetros en función del tiempo de servicio.

La tabla que aparece a continuación recopila los resultados y datos de los valores de C convertidos en valores equivalentes k (coeficiente de la fórmula de COLEBROOK-WHITE)

#### ● Nota

En casos de transporte de aguas brutas con bajo caudal, la experiencia muestra que para cualquier naturaleza de la canalización se requerirá de un aumento de la k a lo largo de los años de explotación.

Los resultados que se muestran responden a análisis realizados sobre morteros compuestos por distintos tipos de cemento, así como las canalizaciones que han transportado diferentes tipologías de agua, lo que limita la aplicación de la propia tabla.



Se puede concluir que:

- Las canalizaciones revestidas interiormente de mortero de cemento aseguran una gran capacidad de caudal, constante en el tiempo
- Un valor global de  $k=0,1$  constituye una hipótesis razonable y segura para el cálculo de las pérdidas de carga totales en una canalización, incluidas pérdidas locales.

DN	Año de instalación	Edad en el momento de la medición años	Valor de coeficiente C (Hazen-William)	Valor k de Colebrook-White
150	1941	0	145	0,025
		12	146	0,019
		16	143	0,060
250	1925	16	134	0,148
		32	135	0,135
		39	138	0,098
300	1928	13	134	0,160
		29	137	0,119
		36	146	0,030
300	1928	13	143	0,054
		29	140	0,075
		36	140	0,075
700	1939	19	148	0,027
		25	146	0,046
700	1944	13	148	0,027
		20	146	0,046

(AWWA Journal - junio de 1974)

## 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA (TABLAS)

Las siguientes tablas de pérdidas de carga son válidas para canalizaciones en fundición dúctil revestidas con mortero de cemento

Hipótesis de cálculo:

- Canalización a presión
- DN 40 a 2000mm
- Coeficiente de rugosidad:  $k=0,03\text{mm}$  y  $0,1\text{mm}$  (incluyendo pérdidas de carga localizadas)
- Viscosidad cinemática del agua:  $\nu = 1,301 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Temperatura del agua:  $T = 10^\circ\text{C}$

Se muestran también tablas correspondientes a las tuberías BLUTOP®, cuyo revestimiento está conformado por DUCTAN, con las siguientes hipótesis de cálculo:

- Conducto a presión
- DNIDE (diámetro exterior) 75, 90, 110, 125, 140 y 160
- Coeficiente de rugosidad:  
 $k = 0,01\text{mm}$   
 $k = 0,05 \text{ mm}$  (incluyendo pérdidas de cargas localizadas)
- Viscosidad cinemática del agua:  $\nu = 1,301 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Temperatura del agua:  $T = 10^\circ\text{C}$

### 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA (TABLAS)

Q (l/s)	DN 60			DN 80			DN 100		
	j (m/km)*			j (m/km)*			j (m/km)*		
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)
1,50	6,184	6,763	0,53						
1,60	6,943	7,620	0,57						
1,70	7,743	8,524	0,60						
1,80	8,582	9,478	0,64						
2,00	10,379	11,529	0,71						
2,20	12,333	13,775	0,78						
2,40	14,442	16,213	0,85						
2,60	16,705	18,843	0,92	4,128	4,486	0,52			
2,80	19,120	21,665	0,99	4,717	5,145	0,56			
3,00	21,688	24,679	1,06	5,342	5,846	0,60			
3,20	24,407	27,884	1,13	6,002	6,591	0,64			
3,40	27,277	31,280	1,20	6,697	7,378	0,68			
3,60	30,296	34,868	1,27	7,427	8,208	0,72			
3,80	33,465	38,646	1,34	8,193	9,081	0,76			
4,00	36,782	42,615	1,41	8,993	9,996	0,80	3,044	3,294	0,51
4,20	40,248	46,775	1,49	9,827	10,953	0,84	3,324	3,604	0,53
4,40	43,861	51,125	1,56	10,696	11,954	0,88	3,615	3,929	0,56
4,60	47,622	55,666	1,63	11,599	12,996	0,92	3,917	4,266	0,59
4,80	51,531	60,397	1,70	12,536	14,081	0,95	4,230	4,617	0,61
5,00	55,586	65,319	1,77	13,508	15,208	0,99	4,555	4,982	0,64
5,20	59,787	70,431	1,84	14,513	16,377	1,03	4,890	5,359	0,66
5,40	64,136	75,733	1,91	15,551	17,589	1,07	5,236	5,750	0,69
5,60	68,630	81,225	1,98	16,624	18,843	1,11	5,594	6,154	0,71
5,80	73,270	86,908	2,05	17,730	20,139	1,15	5,962	6,571	0,74
6,00	78,055	92,781	2,12	18,869	21,477	1,19	6,341	7,002	0,76
6,20	82,986	98,844	2,19	20,042	22,858	1,23	6,731	7,445	0,79
6,40	88,063	105,096	2,26	21,248	24,280	1,27	7,131	7,902	0,81
6,60	93,284	111,539	2,33	22,488	25,745	1,31	7,543	8,372	0,84
6,80	98,650	118,172	2,41	23,761	27,252	1,35	7,965	8,855	0,87
7,00	104,162	124,995	2,48	25,067	28,801	1,39	8,398	9,352	0,89
7,20	109,817	132,008	2,55	26,406	30,391	1,43	8,842	9,861	0,92
7,40	115,618	139,211	2,62	27,778	32,024	1,47	9,296	10,384	0,94
7,60	121,563	146,604	2,69	29,183	33,699	1,51	9,761	10,920	0,97
7,80	127,652	154,187	2,76	30,620	35,416	1,55	10,236	11,469	0,99
8,00	133,885	161,960	2,83	32,091	37,175	1,59	10,722	12,031	1,02
8,20	140,263	169,922	2,90	33,595	38,976	1,63	11,219	12,606	1,04
8,40	146,784	178,075	2,97	35,131	40,819	1,67	11,726	13,194	1,07
8,60				36,700	42,704	1,71	12,243	13,795	1,09
8,80				38,302	44,631	1,75	12,772	14,410	1,12
9,00				39,937	46,600	1,79	13,310	15,037	1,15
9,50				44,166	51,707	1,89	14,703	16,663	1,21
10,00				48,599	57,075	1,99	16,160	18,371	1,27
10,50				53,234	62,705	2,09	17,683	20,160	1,34
11,00				58,073	68,598	2,19	19,270	22,031	1,40
11,50				63,114	74,752	2,29	20,922	23,983	1,46
12,00				68,356	81,169	2,39	22,639	26,017	1,53
12,50				73,801	87,847	2,49	24,420	28,133	1,59
13,00				79,447	94,788	2,59	26,264	30,330	1,66
13,50				85,294	101,990	2,69	28,173	32,608	1,72
14,00				91,342	109,454	2,79	30,146	34,968	1,78
15,00				104,040	125,167	2,98	34,283	39,931	1,91
16,00							38,674	45,220	2,04
17,00							43,318	50,834	2,16
18,00							48,216	56,773	2,29
19,00							53,366	63,037	2,42
20,00							58,768	69,626	2,55
21,00							64,422	76,539	2,67
22,00							70,327	83,778	2,80
23,00							76,482	91,341	2,93

Valores directamente utilizables para agua a 10°C

\* Los resultados que se obtienen son metros de altura de agua por kilómetro de canalización

### 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA (TABLAS)

Q (l/s)	DN 125			DN 150			DN 200		
	j (m/km)*			j (m/km)*			j (m/km)*		
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)
7,00	2,832	3,070	0,57						
7,50	3,209	3,490	0,61						
8,00	3,607	3,936	0,65						
8,50	4,027	4,408	0,69						
9,00	4,469	4,906	0,73	1,844	1,984	0,51			
9,50	4,931	5,429	0,77	2,034	2,193	0,54			
10,00	5,415	5,977	0,81	2,232	2,412	0,57			
10,50	5,920	6,552	0,86	2,438	2,641	0,59			
11,00	6,445	7,151	0,90	2,653	2,880	0,62			
11,50	6,992	7,777	0,94	2,876	3,129	0,65			
12,00	7,559	8,428	0,98	3,107	3,388	0,68			
12,50	8,147	9,104	1,02	3,347	3,656	0,71			
13,00	8,756	9,806	1,06	3,595	3,935	0,74			
13,50	9,385	10,533	1,10	3,852	4,224	0,76			
14,00	10,035	11,285	1,14	4,116	4,522	0,79			
14,50	10,705	12,063	1,18	4,389	4,830	0,82			
15,00	11,396	12,867	1,22	4,669	5,149	0,85			
15,50	12,107	13,695	1,26	4,958	5,477	0,88			
16,00	12,838	14,549	1,30	5,255	5,814	0,91	1,297	1,389	0,51
16,50	13,590	15,429	1,34	5,560	6,162	0,93	1,371	1,471	0,53
17,00	14,362	16,333	1,39	5,873	6,519	0,96	1,448	1,555	0,54
17,50	15,154	17,263	1,43	6,194	6,887	0,99	1,526	1,641	0,56
18,00	15,966	18,219	1,47	6,523	7,264	1,02	1,606	1,729	0,57
18,50	16,799	19,199	1,51	6,861	7,651	1,05	1,688	1,820	0,59
19,00	17,651	20,205	1,55	7,206	8,047	1,08	1,772	1,913	0,60
19,50	18,524	21,237	1,59	7,559	8,454	1,10	1,858	2,008	0,62
20,00	19,416	22,293	1,63	7,920	8,870	1,13	1,945	2,105	0,64
20,50	20,329	23,375	1,67	8,289	9,296	1,16	2,035	2,204	0,65
21,00	21,262	24,482	1,71	8,665	9,732	1,19	2,126	2,306	0,67
21,50	22,214	25,614	1,75	9,050	10,177	1,22	2,219	2,410	0,68
22,00	23,187	26,772	1,79	9,443	10,633	1,24	2,314	2,516	0,70
22,50	24,180	27,955	1,83	9,843	11,098	1,27	2,411	2,624	0,72
23,00	25,192	29,163	1,87	10,252	11,573	1,30	2,510	2,734	0,73
23,50	26,224	30,397	1,91	10,668	12,057	1,33	2,611	2,847	0,75
24,00	27,277	31,655	1,96	11,092	12,552	1,36	2,713	2,962	0,76
26,00	31,684	36,942	2,12	12,867	14,627	1,47	3,141	3,443	0,83
28,00	36,408	42,633	2,28	14,766	16,857	1,58	3,599	3,959	0,89
30,00	41,448	48,728	2,44	16,790	19,244	1,70	4,085	4,510	0,95
32,00	46,802	55,226	2,61	18,937	21,787	1,81	4,600	5,096	1,02
34,00	52,471	62,128	2,77	21,208	24,485	1,92	5,144	5,717	1,08
36,00	58,454	69,432	2,93	23,602	27,339	2,04	5,717	6,372	1,15
38,00				26,119	30,348	2,15	6,317	7,063	1,21
40,00				28,758	33,513	2,26	6,946	7,788	1,27
42,00				31,520	36,833	2,38	7,604	8,548	1,34
44,00				34,404	40,309	2,49	8,289	9,342	1,40
46,00				37,409	43,940	2,60	9,003	10,172	1,46
48,00				40,537	47,726	2,72	9,744	11,035	1,53
50,00				43,786	51,668	2,83	10,514	11,934	1,59
55,00							12,559	14,332	1,75
60,00							14,777	16,946	1,91
65,00							17,168	19,777	2,07
70,00							19,731	22,823	2,23
75,00							22,465	26,085	2,39
80,00							25,370	29,564	2,55
85,00							28,446	33,258	2,71
90,00							31,692	37,167	2,86

Valores directamente utilizables para agua a 10°C

\* Los resultados que se obtienen son metros de altura de agua por kilómetro de canalización

### 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA (TABLAS)

Q	DN 250			DN 300			DN 350			
	j (m/km)*			j (m/km)*			j (m/km)*			
	(l/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)
30,00	1,377	1,483	0,61							
32,00	1,549	1,673	0,65							
34,00	1,730	1,874	0,69							
36,00	1,921	2,086	0,73	0,792	0,844	0,51				
38,00	2,121	2,309	0,77	0,874	0,934	0,54				
40,00	2,330	2,543	0,81	0,960	1,027	0,57				
42,00	2,549	2,788	0,86	1,049	1,125	0,59				
44,00	2,776	3,044	0,90	1,142	1,227	0,62				
46,00	3,013	3,310	0,94	1,238	1,334	0,65				
48,00	3,258	3,588	0,98	1,339	1,445	0,68				
50,00	3,513	3,876	1,02	1,442	1,559	0,71	0,682	0,726	0,52	
52,00	3,776	4,176	1,06	1,550	1,679	0,74	0,732	0,781	0,54	
54,00	4,049	4,486	1,10	1,661	1,802	0,76	0,785	0,838	0,56	
56,00	4,331	4,807	1,14	1,776	1,930	0,79	0,838	0,897	0,58	
58,00	4,621	5,139	1,18	1,894	2,062	0,82	0,894	0,958	0,60	
60,00	4,920	5,482	1,22	2,016	2,198	0,85	0,951	1,021	0,62	
62,00	5,229	5,836	1,26	2,141	2,338	0,88	1,010	1,085	0,64	
64,00	5,546	6,200	1,30	2,270	2,483	0,91	1,070	1,152	0,67	
66,00	5,872	6,575	1,34	2,402	2,631	0,93	1,132	1,220	0,69	
68,00	6,207	6,961	1,39	2,538	2,784	0,96	1,196	1,290	0,71	
70,00	6,550	7,358	1,43	2,677	2,942	0,99	1,261	1,363	0,73	
72,00	6,902	7,766	1,47	2,820	3,103	1,02	1,328	1,437	0,75	
74,00	7,264	8,185	1,51	2,967	3,269	1,05	1,397	1,513	0,77	
76,00	7,634	8,614	1,55	3,116	3,438	1,08	1,467	1,591	0,79	
78,00	8,012	9,054	1,59	3,270	3,612	1,10	1,539	1,670	0,81	
80,00	8,400	9,505	1,63	3,427	3,790	1,13	1,612	1,752	0,83	
85,00	9,406	10,680	1,73	3,834	4,254	1,20	1,802	1,965	0,88	
90,00	10,467	11,922	1,83	4,262	4,744	1,27	2,002	2,189	0,94	
95,00	11,583	13,232	1,94	4,713	5,260	1,34	2,213	2,425	0,99	
100,00	12,752	14,609	2,04	5,184	5,802	1,41	2,433	2,673	1,04	
105,00	13,976	16,053	2,14	5,677	6,371	1,49	2,662	2,932	1,09	
110,00	15,253	17,565	2,24	6,192	6,965	1,56	2,902	3,204	1,14	
115,00	16,584	19,144	2,34	6,727	7,586	1,63	3,151	3,487	1,20	
120,00	17,969	20,790	2,44	7,284	8,232	1,70	3,410	3,782	1,25	
125,00	19,407	22,504	2,55	7,862	8,905	1,77	3,679	4,088	1,30	
130,00	20,899	24,285	2,65	8,460	9,604	1,84	3,957	4,406	1,35	
135,00	22,444	26,134	2,75	9,080	10,329	1,91	4,245	4,736	1,40	
140,00	24,043	28,049	2,85	9,721	11,080	1,98	4,542	5,078	1,46	
145,00	25,695	30,032	2,95	10,383	11,856	2,05	4,849	5,431	1,51	
150,00				11,066	12,659	2,12	5,166	5,796	1,56	
155,00				11,770	13,488	2,19	5,492	6,173	1,61	
160,00				12,495	14,343	2,26	5,828	6,561	1,66	
165,00				13,240	15,224	2,33	6,173	6,961	1,71	
170,00				14,007	16,131	2,41	6,528	7,373	1,77	
175,00				14,794	17,064	2,48	6,892	7,796	1,82	
180,00				15,602	18,023	2,55	7,266	8,231	1,87	
185,00				16,431	19,008	2,62	7,649	8,678	1,92	
190,00				17,281	20,019	2,69	8,041	9,136	1,97	
195,00				18,151	21,056	2,76	8,443	9,606	2,03	
200,00				19,042	22,119	2,83	8,855	10,088	2,08	
210,00				20,886	24,323	2,97	9,706	11,086	2,18	
220,00							10,594	12,131	2,29	
230,00							11,520	13,223	2,39	
240,00							12,484	14,361	2,49	
250,00							13,485	15,546	2,60	
260,00							14,523	16,777	2,70	
270,00							15,599	18,055	2,81	
280,00							16,712	19,379	2,91	

Valores directamente utilizables para agua a 10°C

\* Los resultados que se obtienen son metros de altura de agua por kilómetro de canalización

### 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA (TABLAS)

Q	DN 400			DN 450			DN 500			
	j (m/km)*			j (m/km)*			j (m/km)*			
	(l/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)
65,00	0,575	0,612	0,52							
70,00	0,659	0,702	0,56							
75,00	0,747	0,799	0,60							
80,00	0,841	0,902	0,64	0,474	0,503	0,50				
85,00	0,940	1,010	0,68	0,530	0,564	0,53				
90,00	1,044	1,125	0,72	0,588	0,627	0,57				
95,00	1,153	1,245	0,76	0,650	0,694	0,60				
100,00	1,267	1,371	0,80	0,713	0,764	0,63	0,428	0,453	0,51	
105,00	1,385	1,504	0,84	0,780	0,837	0,66	0,467	0,496	0,53	
110,00	1,509	1,642	0,88	0,850	0,913	0,69	0,509	0,542	0,56	
115,00	1,638	1,786	0,92	0,922	0,993	0,72	0,552	0,588	0,59	
120,00	1,772	1,935	0,95	0,997	1,075	0,75	0,597	0,637	0,61	
125,00	1,911	2,091	0,99	1,075	1,161	0,79	0,643	0,688	0,64	
130,00	2,055	2,253	1,03	1,155	1,251	0,82	0,691	0,740	0,66	
135,00	2,204	2,420	1,07	1,239	1,343	0,85	0,741	0,795	0,69	
140,00	2,357	2,594	1,11	1,324	1,438	0,88	0,792	0,851	0,71	
145,00	2,516	2,773	1,15	1,413	1,537	0,91	0,845	0,909	0,74	
150,00	2,679	2,958	1,19	1,504	1,639	0,94	0,899	0,969	0,76	
155,00	2,847	3,149	1,23	1,598	1,744	0,97	0,955	1,031	0,79	
160,00	3,020	3,345	1,27	1,695	1,852	1,01	1,013	1,094	0,81	
165,00	3,198	3,548	1,31	1,794	1,964	1,04	1,072	1,160	0,84	
170,00	3,380	3,756	1,35	1,896	2,079	1,07	1,132	1,227	0,87	
175,00	3,568	3,971	1,39	2,001	2,196	1,10	1,195	1,296	0,89	
180,00	3,760	4,191	1,43	2,108	2,317	1,13	1,259	1,368	0,92	
185,00	3,957	4,417	1,47	2,218	2,442	1,16	1,324	1,440	0,94	
190,00	4,159	4,648	1,51	2,331	2,569	1,19	1,391	1,515	0,97	
195,00	4,366	4,886	1,55	2,446	2,699	1,23	1,459	1,592	0,99	
200,00	4,577	5,129	1,59	2,564	2,833	1,26	1,529	1,670	1,02	
210,00	5,014	5,634	1,67	2,807	3,110	1,32	1,674	1,832	1,07	
220,00	5,471	6,161	1,75	3,061	3,399	1,38	1,825	2,002	1,12	
230,00	5,946	6,712	1,83	3,326	3,701	1,45	1,982	2,179	1,17	
240,00	6,440	7,286	1,91	3,601	4,016	1,51	2,145	2,363	1,22	
250,00	6,953	7,883	1,99	3,886	4,344	1,57	2,314	2,555	1,27	
260,00	7,485	8,504	2,07	4,182	4,684	1,63	2,489	2,753	1,32	
270,00	8,035	9,148	2,15	4,488	5,036	1,70	2,671	2,960	1,38	
280,00	8,605	9,815	2,23	4,804	5,401	1,76	2,858	3,173	1,43	
290,00	9,193	10,506	2,31	5,131	5,779	1,82	3,051	3,394	1,48	
300,00	9,800	11,219	2,39	5,468	6,170	1,89	3,251	3,622	1,53	
310,00	10,426	11,956	2,47	5,815	6,573	1,95	3,456	3,857	1,58	
320,00	11,071	12,716	2,55	6,173	6,988	2,01	3,668	4,100	1,63	
330,00	11,734	13,499	2,63	6,541	7,417	2,07	3,885	4,350	1,68	
340,00	12,416	14,306	2,71	6,919	7,857	2,14	4,109	4,607	1,73	
350,00	13,117	15,136	2,79	7,307	8,311	2,20	4,338	4,872	1,78	
360,00	13,836	15,989	2,86	7,705	8,777	2,26	4,574	5,144	1,83	
370,00	14,574	16,865	2,94	8,114	9,255	2,33	4,815	5,423	1,88	
380,00				8,533	9,747	2,39	5,062	5,709	1,94	
390,00				8,962	10,250	2,45	5,316	6,003	1,99	
400,00				9,401	10,767	2,52	5,575	6,304	2,04	
420,00				10,310	11,837	2,64	6,111	6,928	2,14	
440,00				11,259	12,958	2,77	6,671	7,581	2,24	
460,00				12,249	14,129	2,89	7,255	8,263	2,34	
480,00							7,862	8,974	2,44	
500,00							8,493	9,714	2,55	
520,00							9,147	10,483	2,65	
540,00							9,825	11,282	2,75	
560,00							10,526	12,109	2,85	
580,00							11,251	12,965	2,95	

Valores directamente utilizables para agua a 10°C

\* Los resultados que se obtienen son metros de altura de agua por kilómetro de canalización



### 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA (TABLAS)

Q	DN 600			DN 700			DN 800			
	j (m/km)*			j (m/km)*			j (m/km)*			
	(l/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)
160,00	0,417	0,443	0,57							
170,00	0,466	0,496	0,60							
180,00	0,517	0,552	0,64							
190,00	0,571	0,611	0,67							
200,00	0,628	0,673	0,71	0,296	0,313	0,52				
210,00	0,687	0,737	0,74	0,324	0,343	0,55				
220,00	0,748	0,805	0,78	0,353	0,375	0,57				
230,00	0,812	0,875	0,81	0,383	0,407	0,60				
240,00	0,878	0,949	0,85	0,414	0,441	0,62				
250,00	0,947	1,025	0,88	0,446	0,476	0,65				
260,00	1,018	1,104	0,92	0,480	0,512	0,68	0,251	0,265	0,52	
270,00	1,092	1,186	0,95	0,514	0,550	0,70	0,269	0,284	0,54	
280,00	1,168	1,271	0,99	0,550	0,589	0,73	0,287	0,304	0,56	
290,00	1,247	1,358	1,03	0,587	0,629	0,75	0,306	0,325	0,58	
300,00	1,327	1,449	1,06	0,625	0,671	0,78	0,326	0,346	0,60	
310,00	1,411	1,542	1,10	0,664	0,714	0,81	0,346	0,368	0,62	
320,00	1,496	1,638	1,13	0,704	0,758	0,83	0,367	0,390	0,64	
330,00	1,584	1,737	1,17	0,745	0,804	0,86	0,388	0,414	0,66	
340,00	1,675	1,839	1,20	0,787	0,850	0,88	0,410	0,438	0,68	
350,00	1,768	1,943	1,24	0,830	0,898	0,91	0,433	0,462	0,70	
360,00	1,863	2,051	1,27	0,875	0,947	0,94	0,456	0,487	0,72	
370,00	1,960	2,161	1,31	0,921	0,998	0,96	0,479	0,513	0,74	
380,00	2,060	2,274	1,34	0,967	1,050	0,99	0,504	0,540	0,76	
390,00	2,163	2,390	1,38	1,015	1,103	1,01	0,528	0,567	0,78	
400,00	2,267	2,509	1,41	1,064	1,157	1,04	0,554	0,594	0,80	
420,00	2,483	2,755	1,49	1,165	1,270	1,09	0,606	0,652	0,84	
440,00	2,709	3,013	1,56	1,270	1,388	1,14	0,660	0,712	0,88	
460,00	2,944	3,281	1,63	1,379	1,510	1,20	0,717	0,774	0,92	
480,00	3,189	3,561	1,70	1,493	1,638	1,25	0,776	0,839	0,95	
500,00	3,442	3,853	1,77	1,611	1,771	1,30	0,837	0,907	0,99	
520,00	3,705	4,155	1,84	1,733	1,909	1,35	0,900	0,977	1,03	
540,00	3,977	4,469	1,91	1,860	2,053	1,40	0,965	1,050	1,07	
560,00	4,259	4,794	1,98	1,990	2,201	1,46	1,033	1,125	1,11	
580,00	4,550	5,131	2,05	2,125	2,354	1,51	1,102	1,203	1,15	
600,00	4,850	5,478	2,12	2,265	2,513	1,56	1,174	1,284	1,19	
620,00	5,159	5,837	2,19	2,408	2,676	1,61	1,248	1,367	1,23	
640,00	5,477	6,208	2,26	2,556	2,845	1,66	1,324	1,452	1,27	
660,00	5,805	6,589	2,33	2,707	3,018	1,71	1,403	1,540	1,31	
680,00	6,142	6,982	2,41	2,863	3,197	1,77	1,483	1,631	1,35	
700,00	6,488	7,386	2,48	3,024	3,381	1,82	1,566	1,724	1,39	
720,00	6,843	7,801	2,55	3,188	3,569	1,87	1,650	1,820	1,43	
740,00	7,207	8,228	2,62	3,357	3,763	1,92	1,737	1,918	1,47	
760,00	7,581	8,666	2,69	3,529	3,962	1,97	1,826	2,019	1,51	
780,00	7,963	9,115	2,76	3,706	4,166	2,03	1,917	2,122	1,55	
800,00	8,355	9,575	2,83	3,887	4,375	2,08	2,010	2,228	1,59	
850,00				4,358	4,920	2,21	2,252	2,503	1,69	
900,00				4,855	5,497	2,34	2,507	2,795	1,79	
950,00				5,377	6,105	2,47	2,775	3,102	1,89	
1 000,00				5,925	6,744	2,60	3,056	3,425	1,99	
1 050,00				6,500	7,415	2,73	3,351	3,764	2,09	
1 100,00				7,099	8,118	2,86	3,658	4,119	2,19	
1 150,00				7,725	8,853	2,99	3,978	4,490	2,29	
1 200,00							4,312	4,876	2,39	
1 250,00							4,658	5,278	2,49	
1 300,00							5,017	5,696	2,59	
1 350,00							5,389	6,130	2,69	
1 400,00							5,774	6,579	2,79	
1 450,00							6,172	7,045	2,88	

Valores directamente utilizables para agua a 10°C

\* Los resultados que se obtienen son metros de altura de agua por kilómetro de canalización

### 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA (TABLAS)

Q	DN 900			DN 1000			DN 1100			
	j (m/km)*			j (m/km)*			j (m/km)*			
	(l/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)
340,00	0,231	0,244	0,53							
360,00	0,257	0,272	0,57							
380,00	0,284	0,301	0,60							
400,00	0,312	0,331	0,63	0,187	0,197	0,51				
420,00	0,341	0,363	0,66	0,204	0,215	0,53				
440,00	0,372	0,396	0,69	0,222	0,235	0,56				
460,00	0,403	0,431	0,72	0,241	0,255	0,59				
480,00	0,436	0,467	0,75	0,261	0,277	0,61	0,164	0,173	0,51	
500,00	0,470	0,504	0,79	0,281	0,299	0,64	0,177	0,186	0,53	
520,00	0,506	0,543	0,82	0,303	0,322	0,66	0,190	0,201	0,55	
540,00	0,542	0,583	0,85	0,324	0,345	0,69	0,204	0,215	0,57	
560,00	0,580	0,625	0,88	0,347	0,370	0,71	0,218	0,231	0,59	
580,00	0,619	0,668	0,91	0,370	0,395	0,74	0,233	0,246	0,61	
600,00	0,659	0,712	0,94	0,394	0,421	0,76	0,248	0,262	0,63	
620,00	0,701	0,758	0,97	0,419	0,448	0,79	0,263	0,279	0,65	
640,00	0,743	0,805	1,01	0,444	0,476	0,81	0,279	0,296	0,67	
660,00	0,787	0,853	1,04	0,470	0,504	0,84	0,295	0,314	0,69	
680,00	0,832	0,903	1,07	0,497	0,534	0,87	0,312	0,332	0,72	
700,00	0,878	0,955	1,10	0,524	0,564	0,89	0,329	0,351	0,74	
720,00	0,925	1,007	1,13	0,552	0,595	0,92	0,347	0,370	0,76	
740,00	0,974	1,061	1,16	0,581	0,627	0,94	0,365	0,390	0,78	
760,00	1,023	1,117	1,19	0,610	0,659	0,97	0,383	0,410	0,80	
780,00	1,074	1,174	1,23	0,641	0,693	0,99	0,402	0,431	0,82	
800,00	1,126	1,232	1,26	0,671	0,727	1,02	0,421	0,452	0,84	
850,00	1,261	1,383	1,34	0,752	0,816	1,08	0,471	0,507	0,89	
900,00	1,403	1,544	1,41	0,836	0,910	1,15	0,524	0,565	0,95	
950,00	1,552	1,712	1,49	0,925	1,008	1,21	0,579	0,626	1,00	
1 000,00	1,709	1,890	1,57	1,017	1,112	1,27	0,637	0,690	1,05	
1 050,00	1,872	2,076	1,65	1,114	1,221	1,34	0,698	0,757	1,10	
1 100,00	2,043	2,270	1,73	1,216	1,335	1,40	0,761	0,828	1,16	
1 150,00	2,221	2,473	1,81	1,321	1,454	1,46	0,827	0,901	1,21	
1 200,00	2,406	2,685	1,89	1,431	1,578	1,53	0,895	0,977	1,26	
1 250,00	2,599	2,905	1,96	1,545	1,707	1,59	0,966	1,057	1,32	
1 300,00	2,798	3,134	2,04	1,663	1,840	1,66	1,040	1,139	1,37	
1 350,00	3,004	3,372	2,12	1,785	1,979	1,72	1,116	1,225	1,42	
1 400,00	3,218	3,618	2,20	1,911	2,123	1,78	1,194	1,313	1,47	
1 450,00	3,438	3,872	2,28	2,041	2,272	1,85	1,276	1,405	1,53	
1 500,00	3,666	4,135	2,36	2,176	2,425	1,91	1,359	1,499	1,58	
1 550,00	3,901	4,407	2,44	2,314	2,584	1,97	1,446	1,597	1,63	
1 600,00	4,142	4,687	2,52	2,457	2,748	2,04	1,534	1,698	1,68	
1 650,00	4,391	4,976	2,59	2,604	2,916	2,10	1,626	1,801	1,74	
1 700,00	4,647	5,274	2,67	2,755	3,090	2,16	1,720	1,908	1,79	
1 750,00	4,909	5,580	2,75	2,910	3,268	2,23	1,816	2,018	1,84	
1 800,00	5,179	5,894	2,83	3,069	3,452	2,29	1,915	2,131	1,89	
1 850,00	5,456	6,217	2,91	3,232	3,640	2,36	2,016	2,247	1,95	
1 900,00	5,739	6,549	2,99	3,400	3,834	2,42	2,120	2,365	2,00	
1 950,00				3,571	4,032	2,48	2,227	2,487	2,05	
2 000,00				3,747	4,235	2,55	2,336	2,612	2,10	
2 100,00				4,110	4,657	2,67	2,561	2,871	2,21	
2 200,00				4,489	5,098	2,80	2,797	3,142	2,31	
2 300,00				4,885	5,559	2,93	3,042	3,425	2,42	
2 400,00							3,298	3,720	2,53	
2 500,00							3,563	4,028	2,63	
2 600,00							3,838	4,347	2,74	
2 700,00							4,124	4,679	2,84	
2 800,00							4,419	5,022	2,95	

Valores directamente utilizables para agua a 10°C

\* Los resultados que se obtienen son metros de altura de agua por kilómetro de canalización



### 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA (TABLAS)

Q (l/s)	DN 1200			DN 1400			DN 1500		
	j (m/km)*			j (m/km)*			j (m/km)*		
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)
600,00	0,162	0,171	0,53						
650,00	0,188	0,198	0,57						
700,00	0,215	0,228	0,62						
750,00	0,244	0,259	0,66						
800,00	0,275	0,293	0,71	0,130	0,137	0,52			
850,00	0,308	0,329	0,75	0,145	0,153	0,55			
900,00	0,342	0,366	0,80	0,161	0,170	0,58	0,115	0,121	0,51
950,00	0,379	0,406	0,84	0,178	0,189	0,62	0,128	0,134	0,54
1 000,00	0,416	0,447	0,88	0,196	0,208	0,65	0,140	0,148	0,57
1 050,00	0,456	0,490	0,93	0,215	0,228	0,68	0,153	0,162	0,59
1 100,00	0,497	0,536	0,97	0,234	0,249	0,71	0,167	0,177	0,62
1 150,00	0,540	0,583	1,02	0,254	0,270	0,75	0,181	0,192	0,65
1 200,00	0,584	0,632	1,06	0,275	0,293	0,78	0,196	0,208	0,68
1 250,00	0,630	0,683	1,11	0,296	0,317	0,81	0,212	0,225	0,71
1 300,00	0,678	0,736	1,15	0,319	0,341	0,84	0,228	0,242	0,74
1 350,00	0,728	0,791	1,19	0,342	0,366	0,88	0,244	0,260	0,76
1 400,00	0,779	0,848	1,24	0,366	0,392	0,91	0,261	0,278	0,79
1 450,00	0,831	0,907	1,28	0,390	0,420	0,94	0,279	0,297	0,82
1 500,00	0,886	0,968	1,33	0,416	0,447	0,97	0,297	0,317	0,85
1 550,00	0,942	1,031	1,37	0,442	0,476	1,01	0,315	0,338	0,88
1 600,00	0,999	1,096	1,41	0,469	0,506	1,04	0,334	0,359	0,91
1 650,00	1,059	1,162	1,46	0,496	0,536	1,07	0,354	0,380	0,93
1 700,00	1,120	1,231	1,50	0,525	0,568	1,10	0,374	0,402	0,96
1 750,00	1,182	1,301	1,55	0,554	0,600	1,14	0,395	0,425	0,99
1 800,00	1,246	1,374	1,59	0,584	0,633	1,17	0,416	0,449	1,02
1 850,00	1,312	1,448	1,64	0,615	0,667	1,20	0,438	0,473	1,05
1 900,00	1,380	1,524	1,68	0,646	0,702	1,23	0,460	0,497	1,08
1 950,00	1,449	1,603	1,72	0,678	0,738	1,27	0,483	0,522	1,10
2 000,00	1,519	1,683	1,77	0,711	0,775	1,30	0,507	0,548	1,13
2 100,00	1,665	1,849	1,86	0,779	0,851	1,36	0,555	0,602	1,19
2 200,00	1,818	2,023	1,95	0,850	0,930	1,43	0,605	0,658	1,24
2 300,00	1,977	2,204	2,03	0,924	1,013	1,49	0,658	0,716	1,30
2 400,00	2,142	2,394	2,12	1,001	1,099	1,56	0,712	0,777	1,36
2 500,00	2,314	2,591	2,21	1,080	1,189	1,62	0,769	0,841	1,41
2 600,00	2,492	2,795	2,30	1,163	1,283	1,69	0,828	0,906	1,47
2 700,00	2,677	3,008	2,39	1,248	1,379	1,75	0,888	0,974	1,53
2 800,00	2,867	3,228	2,48	1,337	1,480	1,82	0,951	1,045	1,58
2 900,00	3,065	3,456	2,56	1,428	1,583	1,88	1,016	1,118	1,64
3 000,00	3,268	3,691	2,65	1,522	1,691	1,95	1,083	1,194	1,70
3 100,00	3,478	3,934	2,74	1,620	1,801	2,01	1,152	1,271	1,75
3 200,00	3,694	4,185	2,83	1,720	1,915	2,08	1,223	1,352	1,81
3 300,00	3,917	4,444	2,92	1,823	2,033	2,14	1,296	1,435	1,87
3 400,00				1,928	2,154	2,21	1,371	1,520	1,92
3 500,00				2,037	2,279	2,27	1,448	1,607	1,98
3 650,00				2,206	2,472	2,37	1,567	1,743	2,07
3 800,00				2,380	2,673	2,47	1,691	1,885	2,15
3 950,00				2,562	2,882	2,57	1,819	2,032	2,24
4 100,00				2,750	3,099	2,66	1,952	2,184	2,32
4 250,00				2,944	3,323	2,76	2,090	2,342	2,41
4 400,00				3,144	3,555	2,86	2,232	2,505	2,49
4 550,00				3,351	3,795	2,96	2,379	2,674	2,57
4 700,00							2,530	2,848	2,66
4 850,00							2,685	3,027	2,74
5 000,00							2,845	3,212	2,83
5 150,00							3,010	3,403	2,91
5 300,00							3,179	3,599	3,00

Valores directamente utilizables para agua a 10°C

\* Los resultados que se obtienen son metros de altura de agua por kilómetro de canalización

### 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA (TABLAS)

Q (l/s)	DN 1600			DN 1800			DN 2000		
	j (m/km)*			j (m/km)*			j (m/km)*		
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)
1 100,00	0,122	0,128	0,55						
1 200,00	0,143	0,151	0,60						
1 300,00	0,166	0,176	0,65	0,094	0,098	0,51			
1 400,00	0,190	0,202	0,70	0,107	0,113	0,55			
1 500,00	0,216	0,230	0,75	0,122	0,128	0,59			
1 600,00	0,244	0,260	0,80	0,137	0,145	0,63	0,082	0,086	0,51
1 700,00	0,273	0,292	0,85	0,154	0,162	0,67	0,092	0,096	0,54
1 800,00	0,304	0,325	0,90	0,171	0,181	0,71	0,102	0,107	0,57
1 900,00	0,336	0,360	0,94	0,189	0,200	0,75	0,113	0,119	0,60
2 000,00	0,369	0,397	0,99	0,208	0,221	0,79	0,124	0,131	0,64
2 100,00	0,404	0,436	1,04	0,227	0,242	0,83	0,136	0,144	0,67
2 200,00	0,441	0,476	1,09	0,248	0,265	0,86	0,148	0,157	0,70
2 300,00	0,479	0,518	1,14	0,269	0,288	0,90	0,161	0,170	0,73
2 400,00	0,519	0,562	1,19	0,291	0,312	0,94	0,174	0,185	0,76
2 500,00	0,560	0,608	1,24	0,314	0,337	0,98	0,188	0,200	0,80
2 600,00	0,603	0,655	1,29	0,338	0,364	1,02	0,202	0,215	0,83
2 700,00	0,647	0,705	1,34	0,363	0,391	1,06	0,216	0,231	0,86
2 800,00	0,692	0,755	1,39	0,388	0,419	1,10	0,232	0,247	0,89
2 900,00	0,739	0,808	1,44	0,414	0,448	1,14	0,247	0,265	0,92
3 000,00	0,788	0,863	1,49	0,441	0,478	1,18	0,263	0,282	0,95
3 100,00	0,838	0,919	1,54	0,469	0,509	1,22	0,280	0,300	0,99
3 200,00	0,889	0,977	1,59	0,498	0,540	1,26	0,297	0,319	1,02
3 300,00	0,942	1,036	1,64	0,528	0,573	1,30	0,315	0,338	1,05
3 400,00	0,997	1,097	1,69	0,558	0,607	1,34	0,333	0,358	1,08
3 500,00	1,053	1,161	1,74	0,589	0,642	1,38	0,351	0,379	1,11
3 650,00	1,139	1,258	1,82	0,637	0,696	1,43	0,380	0,410	1,16
3 800,00	1,229	1,360	1,89	0,687	0,752	1,49	0,409	0,443	1,21
3 950,00	1,322	1,466	1,96	0,739	0,810	1,55	0,440	0,477	1,26
4 100,00	1,418	1,576	2,04	0,793	0,870	1,61	0,472	0,512	1,31
4 250,00	1,518	1,689	2,11	0,848	0,932	1,67	0,505	0,549	1,35
4 400,00	1,621	1,806	2,19	0,906	0,997	1,73	0,539	0,587	1,40
4 550,00	1,727	1,928	2,26	0,965	1,063	1,79	0,574	0,626	1,45
4 700,00	1,836	2,053	2,34	1,025	1,132	1,85	0,610	0,666	1,50
4 850,00	1,949	2,182	2,41	1,088	1,203	1,91	0,647	0,707	1,54
5 000,00	2,065	2,315	2,49	1,152	1,276	1,96	0,685	0,750	1,59
5 200,00	2,224	2,498	2,59	1,241	1,376	2,04	0,737	0,809	1,66
5 400,00	2,390	2,689	2,69	1,333	1,481	2,12	0,792	0,870	1,72
5 600,00	2,561	2,886	2,79	1,428	1,589	2,20	0,848	0,933	1,78
5 800,00	2,737	3,090	2,88	1,526	1,701	2,28	0,906	0,999	1,85
6 000,00	2,920	3,301	2,98	1,627	1,816	2,36	0,966	1,066	1,91
6 200,00				1,731	1,936	2,44	1,027	1,136	1,97
6 400,00				1,839	2,059	2,52	1,091	1,208	2,04
6 600,00				1,949	2,186	2,59	1,156	1,282	2,10
6 800,00				2,063	2,317	2,67	1,223	1,359	2,16
7 000,00				2,180	2,451	2,75	1,292	1,437	2,23
7 200,00				2,300	2,589	2,83	1,363	1,518	2,29
7 400,00				2,423	2,731	2,91	1,436	1,601	2,36
7 600,00				2,549	2,877	2,99	1,510	1,686	2,42
7 800,00							1,587	1,773	2,48
8 000,00							1,665	1,863	2,55
8 200,00							1,745	1,954	2,61
8 400,00							1,826	2,048	2,67
8 600,00							1,910	2,144	2,74
8 800,00							1,995	2,242	2,80
9 000,00							2,083	2,343	2,86
9 200,00							2,171	2,445	2,93
9 400,00							2,262	2,550	2,99

Valores directamente utilizables para agua a 10°C

\* Los resultados que se obtienen son metros de altura de agua por kilómetro de canalización

### 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA (TABLAS)

Q (l/s)	BLUTOP® DN 75		DI 68	BLUTOP® DN 90		DI 83	BLUTOP® DN 110		DI 103
	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)
	0,01	0,05		0,01	0,05		0,01	0,05	
1,60									
1,80	4,55	4,80	0,50						
2,00	5,49	5,82	0,55						
2,20	6,50	6,92	0,61						
2,40	7,59	8,10	0,66						
2,60	8,76	9,38	0,72						
2,80	10,00	10,74	0,77	3,84	4,05	0,52			
3,00	11,31	12,20	0,83	4,34	4,59	0,55			
3,20	12,69	13,73	0,88	4,87	5,16	0,59			
3,40	14,15	15,36	0,94	5,43	5,77	0,63			
3,60	15,68	17,07	0,99	6,01	6,40	0,67			
3,80	17,28	18,86	1,05	6,62	7,07	0,70			
4,00	18,95	20,75	1,10	7,26	7,76	0,74			
4,20	20,69	22,71	1,16	7,92	8,49	0,78	2,81	2,95	0,50
4,40	22,51	24,76	1,21	8,61	9,25	0,81	3,05	3,21	0,53
4,60	24,39	26,90	1,27	9,32	10,04	0,85	3,30	3,48	0,55
4,80	26,33	29,12	1,32	10,06	10,85	0,89	3,56	3,76	0,58
5,00	28,35	31,43	1,38	10,83	11,70	0,92	3,83	4,05	0,60
5,20	30,44	33,82	1,43	11,62	12,58	0,96	4,11	4,35	0,62
5,40	32,59	36,30	1,49	12,44	13,49	1,00	4,40	4,67	0,65
5,60	34,81	38,86	1,54	13,28	14,43	1,04	4,69	4,99	0,67
5,80	37,10	41,51	1,60	14,14	15,41	1,07	5,00	5,32	0,70
6,00	39,45	44,24	1,65	15,04	16,41	1,11	5,31	5,66	0,72
6,20	41,87	47,05	1,71	15,95	17,44	1,15	5,63	6,01	0,74
6,40	44,36	49,95	1,76	16,89	18,50	1,18	5,96	6,37	0,77
6,60	46,91	52,93	1,82	17,86	19,59	1,22	6,30	6,74	0,79
6,80	49,53	56,00	1,87	18,85	20,71	1,26	6,65	7,12	0,82
7,00	52,22	59,15	1,93	19,86	21,86	1,29	7,01	7,52	0,84
7,20	54,97	62,38	1,98	20,90	23,04	1,33	7,37	7,92	0,86
7,40	57,78	65,70	2,04	21,97	24,25	1,37	7,74	8,33	0,89
7,60	60,67	69,10	2,09	23,05	25,49	1,40	8,12	8,75	0,91
7,80	63,61	72,58	2,15	24,17	26,76	1,44	8,51	9,18	0,94
8,00	66,62	76,15	2,20	25,30	28,06	1,48	8,91	9,62	0,96
8,20	69,70	79,81	2,26	26,46	29,39	1,52	9,32	10,07	0,98
8,40	72,84	83,54	2,31	27,65	30,75	1,55	9,73	10,53	1,01
8,60	76,04	87,36	2,37	28,85	32,14	1,59	10,15	11,00	1,03
8,80	79,31	91,27	2,42	30,08	33,56	1,63	10,58	11,48	1,06
9,00	82,65	95,25	2,48	31,34	35,01	1,66	11,02	11,97	1,08
9,20	86,04	99,32	2,53	32,62	36,49	1,70	11,47	12,47	1,10
9,40	89,51	103,48	2,59	33,92	38,00	1,74	11,92	12,97	1,13
9,60	93,03	107,72	2,64	35,25	39,54	1,77	12,38	13,49	1,15
9,80	96,62	112,04	2,70	36,59	41,10	1,81	12,85	14,02	1,18
10,00	100,27	116,44	2,75	37,97	42,70	1,85	13,33	14,56	1,20
10,50	109,68	127,82	2,89	41,50	46,82	1,94	14,57	15,95	1,26
11,00				45,18	51,13	2,03	15,85	17,39	1,32
11,50				49,00	55,62	2,13	17,18	18,90	1,38
12,00				52,97	60,30	2,22	18,56	20,47	1,44
12,50				57,08	65,16	2,31	19,99	22,10	1,50
13,00				61,34	70,21	2,40	21,47	23,79	1,56
13,50				65,74	75,44	2,50	22,99	25,54	1,62
14,00				70,27	80,85	2,59	24,57	27,35	1,68
14,50				74,95	86,45	2,68	26,19	29,22	1,74
16,50							33,16	37,30	1,98
18,50							40,89	46,33	2,22
20,50							49,37	56,32	2,46
22,50							58,59	67,27	2,70
24,50							68,54	79,16	2,94

Valores directamente utilizables para agua a 10°C

\* Los resultados que se obtienen son metros de altura de agua por kilómetro de canalización

### 1.6 PÉRDIDAS DE CARGA (TABLAS)

Q (l/s)	BLUTOP® DN 125		DI 118	BLUTOP® DN 140		DI 133	BLUTOP® DN 160		DI 152
	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)
	0,01	0,05		0,01	0,05		0,01	0,05	
5,50	2,37	2,48	0,50						
6,00	2,76	2,91	0,55						
6,50	3,19	3,37	0,59						
7,00	3,64	3,86	0,64	2,12	2,23	0,51			
7,50	4,12	4,38	0,69	2,40	2,53	0,55			
8,00	4,63	4,93	0,73	2,70	2,84	0,58			
8,50	5,16	5,51	0,78	3,01	3,18	0,62			
9,00	5,72	6,12	0,82	3,33	3,53	0,66	1,69	1,77	0,50
9,50	6,30	6,76	0,87	3,67	3,90	0,69	1,86	1,95	0,52
10,00	6,91	7,43	0,91	4,03	4,28	0,73	2,04	2,15	0,55
10,50	7,55	8,14	0,96	4,40	4,68	0,77	2,23	2,35	0,58
11,00	8,21	8,87	1,01	4,78	5,10	0,80	2,42	2,55	0,61
11,50	8,90	9,63	1,05	5,18	5,54	0,84	2,63	2,77	0,63
12,00	9,61	10,42	1,10	5,59	5,99	0,88	2,83	3,00	0,66
12,50	10,35	11,25	1,14	6,02	6,46	0,91	3,05	3,23	0,69
13,00	11,11	12,10	1,19	6,46	6,95	0,95	3,27	3,47	0,72
13,50	11,90	12,98	1,23	6,92	7,45	0,99	3,50	3,72	0,74
14,00	12,71	13,90	1,28	7,39	7,97	1,02	3,74	3,98	0,77
14,50	13,55	14,84	1,33	7,88	8,51	1,06	3,99	4,25	0,80
15,00	14,41	15,81	1,37	8,37	9,07	1,10	4,24	4,52	0,83
15,50	15,29	16,81	1,42	8,89	9,64	1,13	4,50	4,80	0,85
16,00	16,20	17,84	1,46	9,41	10,22	1,17	4,76	5,09	0,88
16,50	17,13	18,91	1,51	9,95	10,83	1,21	5,03	5,39	0,91
17,00	18,09	20,00	1,55	10,51	11,45	1,24	5,31	5,70	0,94
17,50	19,07	21,12	1,60	11,08	12,09	1,28	5,60	6,01	0,96
18,00	20,08	22,27	1,65	11,66	12,74	1,32	5,89	6,34	0,99
18,50	21,11	23,45	1,69	12,25	13,41	1,35	6,19	6,67	1,02
19,00	22,16	24,66	1,74	12,86	14,10	1,39	6,50	7,01	1,05
19,50	23,24	25,89	1,78	13,48	14,80	1,42	6,81	7,35	1,07
20,00	24,34	27,16	1,83	14,12	15,52	1,46	7,13	7,71	1,10
20,50	25,46	28,46	1,87	14,77	16,26	1,50	7,46	8,07	1,13
21,00	26,61	29,79	1,92	15,43	17,01	1,53	7,79	8,44	1,16
21,50	27,78	31,14	1,97	16,11	17,78	1,57	8,13	8,82	1,18
22,00	28,97	32,53	2,01	16,80	18,57	1,61	8,48	9,21	1,21
22,50	30,19	33,94	2,06	17,50	19,37	1,64	8,83	9,60	1,24
23,00	31,43	35,39	2,10	18,22	20,19	1,68	9,19	10,00	1,27
23,50	32,69	36,86	2,15	18,95	21,03	1,72	9,56	10,41	1,30
24,00	33,98	38,36	2,19	19,69	21,88	1,75	9,93	10,83	1,32
26,00	39,36	44,67	2,38	22,80	25,45	1,90	11,49	12,59	1,43
28,00	45,11	51,45	2,56	26,11	29,28	2,05	13,15	14,47	1,54
30,00	51,22	58,69	2,74	29,63	33,38	2,19	14,92	16,48	1,65
32,00	57,69	66,40	2,93	33,36	37,74	2,34	16,79	18,61	1,76
34,00				37,30	42,36	2,48	18,76	20,87	1,87
36,00				41,44	47,24	2,63	20,83	23,25	1,98
38,00				45,79	52,38	2,78	23,00	25,77	2,09
40,00				50,33	57,78	2,92	25,27	28,40	2,20
42,00							27,65	31,16	2,31
44,00							30,12	34,05	2,42
46,00							32,69	37,06	2,54
48,00							35,36	40,20	2,65
50,00							38,12	43,46	2,76

Valores directamente utilizables para agua a 10°C

\* Los resultados que se obtienen son metros de altura de agua por kilómetro de canalización

# 2 PRESIÓN Y DESVIACIÓN ANGULAR EN LAS UNIONES

## 2.1 PRESIÓN (Conceptos)

En lo referente al término presión, se deben distinguir los siguientes conceptos:

- Concepto de presión en lo referente a la red (ligado al dimensionamiento de la propia red)
- Concepto de presión en lo referente al fabricante (ligado a las prestaciones de los componentes)
- Concepto de presión ligado al usuario de la red (ligado a las condiciones de servicio)

### Terminologías

La terminología presentada a continuación es la utilizada por la norma "EN 805:2000 – Abastecimiento de Agua. Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes", aplicable a todos los materiales y productos existentes en una red de abastecimiento de agua.

	Terminologie				
	Abreviatura	Español	Francés	Inglés	Alemán
Relativas a la red	DP	Presión de diseño	Pression de calcul en régime permanent	Design Pressure	Systembetriebsdruck
	MDP	Presión máxima de diseño	Pression maximale de calcul	Maximum design pressure	höchster Systembetriebsdruck
	STP	Presión de prueba de la red	Pression d'épreuve du réseau	System test pressure	Systemprüfdruck
Relativas a los componentes	PFA	Presión de funcionamiento admisible	Pression de fonctionnement admissible	Allowable operating pressure	zulässiger Bauteilbetriebsdruck
	PMA	Presión máxima admisible	Pression maximale admissible	Allowable maximum operating pressure	höchster zulässigen Bauteilbetriebsdruck
	PEA	Presión de prueba en obra admisible	Pression d'épreuve admissible	Allowable test pressure	zulässiger Bauteilprüfdruck
Relativas a la red	OP	Presión de funcionamiento	Pression de fonctionnement	Operating pressure	Betriebsdruck
	SP	Presión de servicio	Pression de service	Service pressure	Versorgungsdruck

## 2.1 PRESIÓN (Conceptos)

### TERMINOLOGÍA PARA EL DISEÑADOR O PROYECTISTA

- **DP – Presión de diseño**  
Presión máxima de funcionamiento de la zona de presión, fijada por el proyectista de la red, sin tener el golpe de ariete.
- **MDP – Presión máxima de diseño**  
Presión máxima de funcionamiento de la zona de presión, fijada por el proyectista contabilizando el golpe de ariete, habiendo tenido en cuenta situaciones futuras. A su vez, debemos distinguir entre:
  - o MDPa, cuando se fije previamente el golpe de ariete admitido.
  - o MDPc, cuando el golpe de ariete se calcule.
- **STP – Presión prueba de la red**  
Presión hidrostática aplicada en la canalización tras su instalación para asegurar su integridad y estanqueidad.

### TERMINOLOGÍA PARA EL FABRICANTE (APLICADA EN EL PRESENTE CATÁLOGO)

- **PFA – Presión de Funcionamiento Admisible**  
Máxima presión hidrostática que un componente es capaz de resistir en servicio de forma permanente. Es la presión que fija, para el componente, la presión de diseño de la red donde podrá ser utilizado.
- **PMA – Presión Máxima Admisible**  
Presión máxima, contabilizando el golpe de ariete, que un componente es capaz de resistir. Es la presión que limita, para el componente, la presión de golpe de ariete, calculado o admitido, para la red en diseño.  
Para canalizaciones en fundición dúctil, PMA = 1,2 x PFA, en bar (según EN 545:2010).
- **PEA – Presión de Ensayo Admisible**  
Máxima presión hidrostática que un componente es capaz de asumir, tras su instalación en obra. Es la presión que fija, para el componente, la máxima presión de prueba a la que puede ser sometida la red.  
Para las canalizaciones en fundición dúctil, PEA = PMA + 5 = 1,2 x PFA + 5, en bar (según EN 545:2010).

### TERMINOLOGÍA PARA EL USUARIO

- **OP – Presión de funcionamiento**  
Presión interna existente en un punto determinado de la red en un momento concreto.
- **SP – Presión de servicio**  
Presión interna disponible en el punto de suministro.

## 2.1 PRESIÓN (Conceptos)

### OTRAS DEFINICIONES PARA EL FABRICANTE

#### ● **PN – Presión nominal (conforme a lo dispuesto en la EN 545:2010)**

Designación numérica expresada por un número con finalidad de ser referencia. Así, todos los componentes a bridas, con un mismo DN y mismo PN dispondrán de dimensiones similares que los harán compatibles.

La norma EN545:2010 – Anexo 4, tabla A.2 – establece, para los tubos y accesorios a bridas, la siguiente correspondencia entre PN y PFA, PMA y PEA

DN	PN 10			PN 16			PN 25			PN 40		
	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA
40 a 50	Ver PN 40			Ver PN 40			Ver PN 40			40	48	53
60 a 80	Ver PN 16			16	20	25	Ver PN 40			40	48	53
100 a 150	Ver PN 16			16	20	25	25	30	35	40	48	53
200 a 300	10	12	17	16	20	25	25	30	35	40	48	53
350 a 1 200	10	12	17	16	20	25	25	30	35	–	–	–
1 400a 2 000	10	12	17	16	20	25	–	–	–	–	–	–
Los productos a bridas DN80 fabricados por <b>PAM</b> se ciñen a la siguiente correspondencia:												
80	Ver PN 40			Ver PN 40			Ver PN 40			40	48	53

#### ● **Presión de prueba a estanqueidad (según la norma EN 545:2010)**

Presión aplicada a un componente de la instalación durante el proceso de fabricación para asegurar la estanqueidad del mismo.

## 2.2 Presión de funcionamiento admisible de tubos y accesorios (bar)

Las canalizaciones **PAM** son conocidas por estar capacitadas para resistir presiones muy elevadas, por lo general bastante superiores a los valores habituales de las redes. Este hecho se justifica por la necesidad de poder resistir las numerosas sollicitaciones a las que una canalización puede someterse durante su vida útil, además de las generadas durante la puesta en obra, suponiendo una importante garantía de seguridad.

### Dimensionamiento de una canalización

En el diseño y dimensionamiento de una red deben garantizarse que se cumplen las tres expresiones siguientes:

$$\begin{aligned}
 DP &\leq PFA \\
 MDP &\leq PMA \\
 STP &\leq PEA
 \end{aligned}$$

### Coefficiente de seguridad

Las presiones indicadas en la tabla anterior, son establecidas imponiéndose importantes coeficientes de seguridad que tienen en cuenta, no solo los esfuerzos provocados por las presiones internas, sino también las numerosas sollicitaciones externas, en muchos casos accidentales, a las que pueden verse sometidas las canalizaciones, tanto durante su instalación, como durante su vida útil.

Ejemplo: para un tubo la PFA es calculada con un coeficiente de seguridad de:

- 3, impuesto para determinar la resistencia mínima a la rotura
- 2, impuesto para determinar el límite elástico mínimo

### Utilización de la tabla de presiones

La resistencia a la presión de un componente depende:

- De la resistencia del cuerpo del propio componente, y
- De las prestaciones de las juntas o uniones que lo equipen

Para la conexión de dos componentes, debe tenerse en cuenta, por tanto, la resistencia del componente más débil.

Las tablas que se muestran a continuación indican para cada tipo de componente (tubo, accesorio...) y cada tipo de unión, los valores de PFA, PMA y PEA correspondientes.

Si un tubo está equipado con dos tipologías de uniones diferentes, una en cada extremo, es el valor más bajo el que fija el valor límite del componente.

Ejemplo: Té DN300 con 2 enchufes EXPRESS, y derivación a bridas dn150 PN40:

- PFA = 40 bar
- PMA = 48 bar
- PEA = 53 bar

## 2.2 Presión de funcionamiento admisible de tubos y accesorios (bar)



### JUNTA STANDARD

STD			NATURAL	NATURAL PUR	NATURAL HP	CLASSIC / CLASSIC PUR	IRRIGAL	TT PE	PUX PUR
DN	clase	PFA							
60	C40	40			100 (C100)				
80	C40	40			100 (C100)				
100	C40	40			100 (C100)				
125	C40	40			64 (C64)				
150	C40	40			64 (C64)				
200	C40	40			50 (C50)				
250	C40	40			50 (C50)				
300	C40	40			50 (C50)				
350	C30	30			40 (C40)				
400	C30	30			40 (C40)				
450	C30	30			40 (C40)				
500	C30	30			40 (C40)				
600	C30	30			40 (C40)				
700	C25	25							
700	C30	30							
800	C25	25							
800	C30	30							
900	C25	25							
900	C30	30							
1000	C25	25							
1000	C30	30							
1100	C25	25							
1100	C30	30							
1200	C25	25							
1200	C30	30							
1400	C25	25							
1500	C25	25							
1600	C25	25							
1800	C25	25							
2000	C25	25							

Para saber más sobre las gamas y presiones admisibles visite: [www.PAMLINe.es](http://www.PAMLINe.es)

## 2.2 Presión de funcionamiento admisible de tubos y accesorios (bar)



### UNIÓN STANDARD Vi

STD Vi			NATURAL	NATURAL PUR	NATURAL HPVi	IRRIGAL	PROCESS (FM)	TT PE
DN	clase	PFA						
60	C40	22			30 (C100)			
80	C40	16			25 (C100)			
100	C40	16			25 (C100)			
125	C40	16			20 (C64)			
150	C40	16			25 (C64)			
200	C40	16			20 (C50)			
250	C40	16			20 (C50)			
300	C40	16			20 (C50)			
350	C30	16			20 (C40)			
400	C30	16			20 (C40)			
450	C30	13			20 (C40)			
500	C30	11			18 (C40)			
600	C30	10			16 (C40)			
700	C30	10			16 (C40)			



### UNIÓN UNIVERSAL Vi

UNI Vi			NATURAL	NATURAL PUR	TT PE
DN	clase	PFA			
80	C100	100			
100	C100	56			
125	C64	52			
150	C64	48			
200	C64	43			
250	C50	39			
300	C50	34			
350	C40	25			
400	C40	20			
450	C40	16			
500	C40	16			
600	C40	16			



### UNIÓN UNIVERSAL Ve

UNI Ve			NATURAL	NATURAL PUR	TT PE
DN	clase	PFA			
100	C100	85			
125	C64	63			
150	C64	63			
200	C64	52			
250	C50	46			
300	C50	41			
350	C40	38			
400	C40	35			
450	C40	32			
500	C40	30			
600	C40	30			
700	C30	27			
800	C30	25			
900	C30	25			
1000	C30	25			
1200	C25	20			
1200	C30	25			
1400	C25	16			
1600	C25	16			
1600	C30	25			



## 2.2 Presión de funcionamiento admisible de tubos y accesorios (bar)

### ● Gama ALPINAL®

DN	clase	TYTON UNI	TYTON UNI Vi	TYTON UNI Ve	clase	UNI STD	UNI STD VE
80	C100	100	100	100			
100	C100	100	56	85			
100	C145	145	100	100			
125	C64	63	52	63			
125	C100	100	100	100			
150	C64	63	48	63			
150	C100	100	63	100			
200	C64	63		63			
200	C100	100		100			
250	C50	50		50			
250	C85	85		78			
250	C100	100		100			
300	C50	50		41			
300	C75	75		70			
300	C85	85		80			
300	C100	100		100			
400	C100	100		85	C40	40	35
400					C64	63	63
500	C64	64			C40	40	30
500	C75	75		75	C50	50	50
500	C100	100					
600	C64	64		64			
600	C100	100					

Estas PFA se aplican a los accesorios de la gama ALPINAL.

### ● Gama BLUTOP®

DN	Clase	no acerrojado	acerrojado
75	C25	25	16
90	C25	25	16
110	C25	25	16
125	C25	25	16
140	C25	25	16
160	C25	25	16

## 2.2 Presión de funcionamiento admisible de tubos y accesorios (bar)

### PMA Y PEA en función de la PFA (bar)

PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA
100	120	125	45	54	59	26	31	36
64	76	81	43	51	56	25	30	35
63	75	80	41	49	54	23	28	33
60	72	77	40	48	53	22	26	31
57	68	73	39	46	51	20	24	29
56	67	72	38	45	50	18	21	26
55	65	70	35	42	47	16	19	24
52	62	67	34	41	45	13	15	20
50	60	65	32	38	43	12	14	19
48	57	62	30	36	41	11	13	18
46	55	60	27	32	37	10	12	17

### Accesorios con junta Express

DN	C Accesorio	C Tubo	PFA Express	PFA Express Vi
60	100	40	40	25
80	100	40	40	23
100	100	40	40	23
125	64	40	40	22
150	64	40	40	18
200	64	40	40	16
250	50	40	40	16
300	50	40	40	16
350	50	30	30	-
400	40	30	30	-
450	40	30	30	-
500	40	30	30	-
600	40	30	30	-
700	30	25	25	-
800	30	25	25	-
900	30	25	25	-
1 000	30	25	25	-
1 100	30	25	25	-
1 200	30	25	25	-
1 400	30	25	25	-
1 500	25	25	25	-
1 600	25	25	25	-
1 800	25	25	25	-
2 000	25	25	25	-

Para accesorios montados sobre tubos de clase de presión superior, consultarnos.

## 2.3 ACERROJADO

Los cambios de dirección, reducciones y extremos de canalizaciones, en canalizaciones a presión generan empujes hidráulicos que deben ser conocidos y contrarrestados. No hacerlo conllevaría la generación de una fuga, con la consiguiente pérdida de estanqueidad y colapso de la red.

Para evitar tales efectos, pueden disponerse de anclajes que eviten el movimiento de la tubería, y su desenchufado, ya sea mediante instalación de macizos de anclaje de hormigón, o mediante la instalación de uniones acerrojadas.

Los esfuerzos hidráulicos pueden ser muy elevados y deben ser correctamente calculados y conocidos, para un correcto dimensionado de los dispositivos de anclaje, sea cual sea su naturaleza.

Los empujes hidráulicos se calculan mediante la siguiente expresión:

$$F = K \cdot P \cdot S$$

F: empuje (en N)

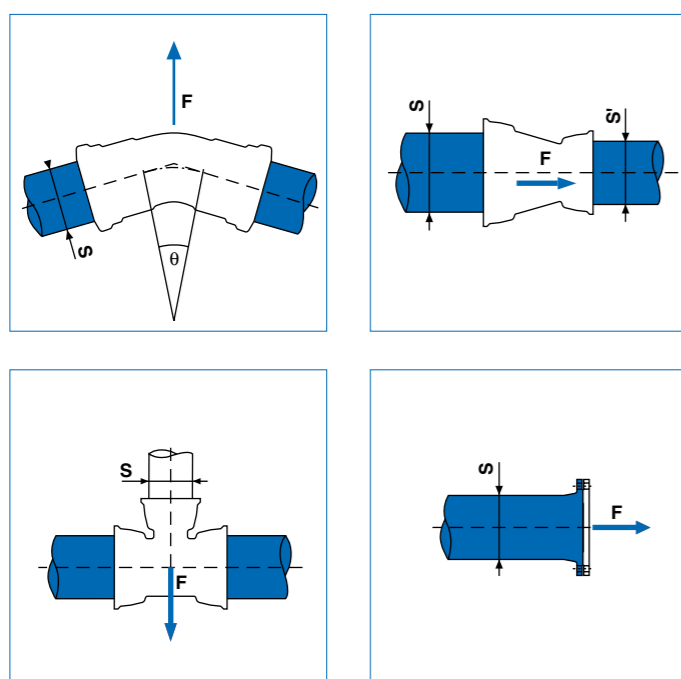
P: presión interior máxima (presión de prueba en obra) (en Pa)

S: sección transversal (interior para las uniones a bridas, exterior para el resto de tipos) (en m<sup>2</sup>)

K: coeficiente, en función de la geometría del elemento de la canalización en que se genera el esfuerzo

VALOR DEL COEFICIENTE K SEGÚN EL TIPO DE ACCESORIO	
Accesorio	K
Brida ciega	1,00
Codo 1/4	1,414
Codo 1/8	0,765
Codo 1/16	0,390
Codo 1/32	0,196
Cono	1-5'/5 (S' sección más pequeña)
Te	1,00

Empujes hidráulicos generados en una canalización.



## 2.3 ACERROJADO

**Empujes hidráulicos:** La tabla siguiente muestra los valores de los empujes generados por una presión de 1 bar. (Para conocer los valores generados por presiones diferentes, multiplíquese el valor mostrado en la tabla por la presión de cálculo)

DN	Empuje F en daN para 1Bar				
	Codos 1/4	Codos 1/8	Codos 1/16	Codos 1/32	Tes, bridas ciegas y válvulas de seccionamiento
60	66	36	18	9	47
80	106	57	29	15	75
100	154	83	43	21	109
125	230	125	64	32	163
150	321	174	89	44	227
200	547	296	151	76	387
250	834	451	230	116	590
300	1181	639	326	164	835
350	1587	858	438	220	1122
400	2043	1105	564	283	1445
450	2558	1384	706	355	1809
500	3143	1701	867	436	2223
600	4478	2423	1235	621	3167
700	6049	3273	1668	838	4278
800	7873	4260	2172	1091	5568
900	9918	5366	2735	1375	7014
1000	12197	6599	3364	1691	8626
1100	-	7960	4058	2039	10405
1200	17491	9463	4824	2425	12370
1400	-	12842	6547	3290	16787
1500	-	14716	7502	3770	19236
1600	-	16716	8522	4283	21851
1800	-	21123	10769	5412	27612
2000	-	26044	13278	6673	34045

## 2.3 ACERROJADO

### MAYORES POSIBILIDADES EN EL DISEÑO DE LAS REDES

#### Eliminación de macizos de anclaje de hormigón

Uno de los usos más extendidos y habituales de las tecnologías de acerojado es la eliminación de los macizos de anclaje de hormigón, debido a determinadas desventajas que puede plantear la instalación de dichos macizos:

- **Necesidad de espacio**

A medida que aumenta el diámetro de diseño de las canalizaciones, aumentan también las dimensiones de los macizos asociadas a las mismas. Este hecho puede suponer problemas graves en zonas urbanas, o en las que la canalización tenga que convivir con otras instalaciones existentes o futuras (gas, saneamiento, telecomunicaciones, líneas eléctricas...) debiendo compartir un espacio limitado.

- **Plazos de ejecución y puesta en funcionamiento**

Los hormigones tradicionales requieren de un periodo de fraguado y generación de resistencia, que puede llegar a los 28 días, antes de poder someterse a las cargas de diseño. Este hecho puede suponer un contratiempo importante en obras en las que el plazo de puesta en funcionamiento apremie.

- **Riesgos de desestabilización a largo plazo**

El origen de este tipo de riesgos puede ser natural, en terrenos de baja homogeneidad, o accidental, provocado por descalces o daños generados durante la ejecución de otras instalaciones. Este tipo de afecciones pueden comprometer la estabilidad del macizo y, con ella, la integridad de la canalización.

- **Coste final de vida útil**

La existencia de este tipo de macizos puede generar un importante sobrecoste de demolición una vez acabada la vida útil de la instalación.

#### Una solución moderna y adaptada a los nuevos requerimientos en el diseño de redes

La utilización de tecnologías de acerojado es cada día más utilizada y demandada tanto en España, como a nivel mundial, y es que este tipo de tecnología presenta unas ventajas significantes:

- **Nula necesidad de espacio y terreno**

El espacio ocupado por canalizaciones acerojadas es el mismo que el ocupado por las canalizaciones no acerojadas, facilitando con ello la convivencia con otras instalaciones dentro de las zanjas, además de reduciendo notablemente los volúmenes de excavación.

- **Eliminación de hormigón**

La eliminación de los macizos de anclaje puede ser entendida, y requerida, como una mejora desde el punto de vista medioambiental, debido a la reducción del impacto de la obra sobre el entorno, con especial importancia en entornos naturales o protegidos. Además, las labores de encofrado, armado, bombeo y vibrado, pueden resultar complejas y/o caras en instalaciones de difícil acceso.

- **Rapidez de puesta en servicio**

La instalación de sistemas acerojados es rápida y sencilla, no suponiendo en ningún caso grandes penalizaciones sobre la instalación de uniones no acerojadas, máxime en los sistemas Express Vi y Standard Vi, donde los rendimientos de instalación son idénticos a los sistemas no acerojados. Además, no requieren de ningún tiempo de espera tras su instalación para su puesta en funcionamiento.

## 2.3 ACERROJADO

- **Estabilidad y durabilidad**

El funcionamiento de los sistemas acerojados está asociado a los procesos de resistencia al desenchufado de las uniones y al rozamiento entre la canalización y el terreno. Las recomendaciones, cálculos y asistencia, que PAM ofrece al respecto garantizan su correcto dimensionamiento y funcionamiento.

- **Posibilidad de desmontaje**

El desmontaje de las canalizaciones es posible, antes de su puesta en carga, en todos los sistemas de acerojado y, tras su puesta en carga, en todos los sistemas de acerojado Ve y Express Vi, sin requerir de trabajos de demolición o sobrecostes importantes.

#### Una mayor fiabilidad en los plazos y procesos de recepción de obras

El uso de soluciones acerojadas puede ser utilizado para minimizar tiempos en las obras sin comprometer la fiabilidad:

- **Sin necesidades de tiempos de espera**

Desde el mismo momento de su instalación, la unión acerojada está preparada para someterse a la puesta en carga o prueba de presión.

- **Eliminación de los macizos de anclaje para las pruebas de presión**

Las soluciones acerojadas pueden ser utilizadas también para evitar la instalación de macizos para las pruebas de presión. Se trata de un beneficio claro, si se tiene en cuenta que la disposición de estos macizos solo tiene sentido durante dichas pruebas, suponiendo un gasto extra tanto su instalación como su demolición posterior.

- **Posibilidad de pruebas en tramos más cortos**

#### Soluciones acerojadas para las instalaciones más exigentes

El abanico de soluciones acerojadas permite una adaptación a los condicionantes de cada instalación, además de posibilitar el diseño y ejecución de canalizaciones en fundición dúctil en instalaciones especiales:

- Instalación en camisa
- Perforación dirigida o instalación por sustitución
- Instalaciones en zonas montañosas con fuertes pendientes
- Instalaciones en suelos poco consistentes o en situaciones de inmersión

#### El ahorro en el uso de uniones acerojadas

- Ahorro de material, eliminando el hormigón de los macizos de anclaje
- Minimización de la ocupación y excavación
- Ahorro en los tiempos de instalación y puesta en funcionamiento
- Ahorro en materiales y procesos constructivos complementarios, como el encofrado.



El uso de uniones acerojadas como anclaje, elimina la necesidad del uso de macizos

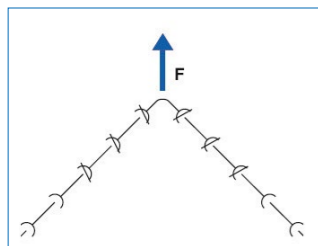
## 2.4 CÁLCULO DE LONGITUDES DE ACERROJADO

### ¿Qué longitud es necesaria acerrojar para el correcto anclaje de una canalización?

El principio de la técnica de anclaje mediante el uso de uniones acerrojadas se basa en la disposición de una longitud acerrojada suficiente, en el entorno del punto donde se genera el empuje hidráulico para disipar dicho empuje mediante la acción de las fuerzas de rozamiento "suelo/tubo".

El cálculo de la longitud de acerrojado es independiente del sistema de acerrojado utilizado. El resultado de dicho cálculo, dependerá de la presión de prueba de la red, del diámetro de la canalización, así como de los dos parámetros que aparecen en las siguientes expresiones:

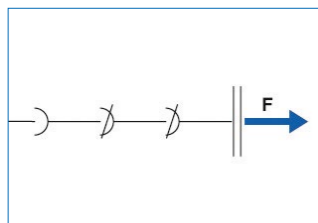
La expresión de cálculo para la longitud de acerrojado es la siguiente:  $L = \frac{PS}{F_n} \times \left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) \times \left(\text{tg} \frac{\theta}{2}\right) \times c$



Acerrojado de la canalización según la figura

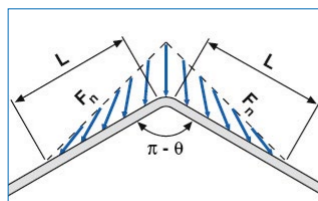
- L : longitud a acerrojar (en m)
- P : presión de prueba de la red (en Pa)
- S : sección transversal (en m<sup>2</sup>)
- θ : ángulo de la conducción (en radianes)
- c : coeficiente de seguridad (normalmente 1,2)
- F<sub>n</sub> : fuerza de rozamiento por metro de tubo (en N/m)

$$F_n = K \cdot f \cdot (2 \cdot W_e + W_p + W_w)$$



- W<sub>p</sub> : peso lineal del tubo vacío (en N/m)
- W<sub>w</sub> : peso lineal de la masa de agua (en N/m)
- K : coeficiente de reparto de presiones del relleno en el entorno del tubo (según compactación entre 1,1 y 1,5)
- f : coeficiente de rozamiento "suelo/terreno"
- W<sub>e</sub> : peso lineal del relleno (en N/m)

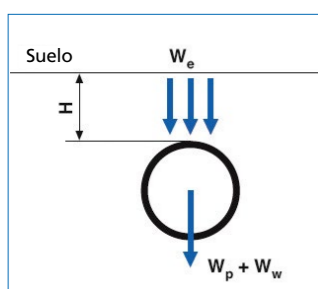
$$W_e = \gamma \cdot H \cdot D \cdot \alpha_1$$



Parámetros intervinientes en el cálculo de la longitud acerrojada

- α<sub>1</sub> = 1, si el ensayo es con las uniones enterradas
- α<sub>2</sub> = 2/3, si el ensayo es con las uniones descubiertas
- D : diámetro exterior del tubo (en m)
- H : altura de cobertura (en m)

$$f = \alpha_2 \cdot \text{tg} (0,8 \cdot \phi)$$



- α<sub>2</sub> = 1, si el revestimiento del tubo es metálico, esto es, Zinc, Zinalium o Biozinalium
- α<sub>2</sub> = 2/3, si el tubo cuenta con un revestimiento TT, esto es, polietileno o poliuretano o si el tubo cuenta con manga de polietileno
- K<sub>f</sub> = min (K · 2/3 · tg (0,8φ); 0,3)
- φ : ángulo de rozamiento interno del relleno

## 2.4 CÁLCULO DE LONGITUDES DE ACERROJADO

HIPÓTESIS	Presión de ensayo	10 bar	Coeficiente de seguridad	1,5
	Ángulo de rozamiento interno del terreno	30°	Revestimiento standard	(coef. 1)
	Peso específico del suelo	2 t/m <sup>3</sup>	Uniones no enterradas	(coef. 2/3=0,6667)

Longitudes a acerrojar en metros, calculadas bajo las hipótesis fijadas															
TIPO DE ACCESORIO	Codo 1/4			Codo 1/8			Codo 1/16			Codo 1/32			Brida ciega o válvula		
	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2
60	4,6	3,1	2,4	2,9	1,9	1,5	1,6	1,1	0,8	0,8	0,6	0,4	5,8	4,0	3,0
80	5,8	4,0	3,0	3,6	2,5	1,9	2,0	1,4	1,0	1,1	0,7	0,6	7,4	5,0	3,8
100	7,0	4,7	3,6	4,3	2,9	2,2	2,4	1,7	1,3	1,3	0,9	0,7	8,9	6,0	4,6
125	8,4	5,8	4,4	5,2	3,6	2,7	2,9	2,0	1,5	1,6	1,1	0,8	10,7	7,3	5,6
150	9,9	6,8	5,1	6,1	4,2	3,2	3,4	2,4	1,8	1,8	1,2	0,9	12,6	8,6	6,5
200	12,7	8,7	6,7	7,9	5,4	4,1	4,4	3,0	2,3	2,3	1,6	1,2	16,2	11,1	8,5
250	15,4	10,7	8,1	9,6	6,6	5,1	5,4	3,7	2,8	2,8	2,0	1,5	19,6	13,6	10,4
300	18,0	12,5	9,6	11,2	7,8	6,0	6,3	4,4	3,3	3,3	2,3	1,8	22,9	15,9	12,2
350	20,5	14,4	11,0	12,7	8,9	6,9	7,1	5,0	3,8	3,8	2,7	2,0	26,1	18,3	14,1
400	23,0	16,1	12,4	14,3	10,0	7,7	8,0	5,6	4,3	4,2	3,0	2,3	29,3	20,5	15,8
450	25,3	17,9	13,8	15,7	11,1	8,6	8,8	6,2	4,8	4,7	3,3	2,5	32,2	22,7	17,6
500	27,6	19,6	15,2	17,2	12,2	9,4	9,6	6,8	5,3	5,1	3,6	2,8	35,2	24,9	19,3
600	31,9	22,8	17,8	19,8	14,2	11,0	11,1	8,0	6,2	5,9	4,2	3,3	40,7	29,1	22,6
700	35,6	25,7	20,2	22,1	16,0	12,5	12,4	9,0	7,0	6,6	4,8	3,7	45,3	32,8	25,7
800	39,5	28,8	22,7	24,5	17,9	14,1	13,7	10,0	7,9	7,3	5,3	4,2	50,3	36,7	28,8
900	42,9	31,6	25,0	26,7	19,6	15,5	14,9	11,0	8,7	7,9	5,8	4,6	54,6	40,2	31,8
1000	46,4	34,4	27,3	28,9	21,4	17,0	16,2	12,0	9,5	8,6	6,3	5,0	59,1	43,8	34,8
1100	50,5	37,5	29,8	31,4	23,3	18,5	17,6	13,1	10,4	9,3	6,9	5,5	64,4	47,8	38,0
1200	52,7	39,6	31,7	32,8	24,6	19,7	18,4	13,8	11,0	9,7	7,3	5,8	67,1	50,4	40,3
1400	58,8	44,6	35,9	36,5	27,7	22,3	20,5	15,5	12,5	10,9	8,2	6,6	74,8	56,8	45,7
1500	61,4	46,8	37,9	38,1	29,1	23,5	21,4	16,3	13,2	11,3	8,7	7,0	78,2	59,6	48,2
1600	63,9	49,1	39,8	39,7	30,5	24,7	22,3	17,1	13,9	11,8	9,1	7,3	81,4	62,5	50,7
1800	68,8	53,3	43,5	42,7	33,1	27,0	23,9	18,6	15,1	12,7	9,8	8,0	87,6	67,9	55,4
2000	73,0	57,2	47,0	45,4	35,5	29,2	25,4	19,9	16,3	13,5	10,6	8,7	93,0	72,8	59,8

La longitud a acerrojar queda definida, además, por un coeficiente de seguridad ligado a:

- El nivel de acabado de la instalación y acondicionamiento
- La calidad del compactado y relleno

Se debe tener en cuenta, cuando proceda, la existencia y afección de capas freáticas sobre la instalación.

- En caso de utilización de manga de polietileno: Se debe aplicar un factor multiplicador de 1,9 sobre la longitud a acerrojar resultante.
- En caso de utilización de revestimientos especiales de polietileno o poliuretano: Se debe aplicar un factor multiplicador de 1,5 sobre la longitud a acerrojar resultante.
- Para otras hipótesis, consúltenos.

## 2.5 MACIZOS DE ANCLAJE DE HORMIGÓN

La utilización de macizos de anclaje de hormigón es igualmente una técnica destinada a absorber los empujes hidráulicos en una canalización, realizada mediante tuberías con unión enchufada, bajo presión.

### Principio de diseño y funcionamiento

La configuración y disposición de macizos de anclaje en hormigón puede variar según las condiciones de instalación de la canalización, la capacidad y naturaleza del suelo, así como la presencia o no de una capa freática.

Los macizos deben absorber los esfuerzos generados por los empujes hidráulicos mediante:

- Únicamente rozamiento de su superficie inferior sobre el suelo
- Mediante el rozamiento de su superficie con el suelo y acción de los empujes pasivos del terreno en su apoyo sobre el cuerpo de la zanja

En la práctica, la mayoría de los macizos de hormigón son calculados teniendo en cuenta ambos esfuerzos, rozamiento de base y apoyo sobre el cuerpo de la zanja.

En caso de existir problemas ligados a la baja capacidad portante del terreno o a la imposibilidad de disponer de estos elementos por limitaciones de espacio, es posible utilizar soluciones acerrojadas.

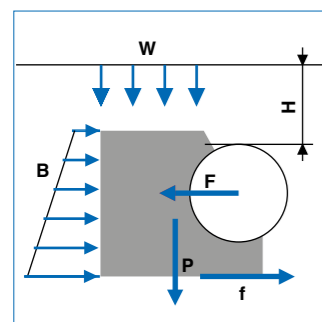
Ver ACERROJADO página 38

### Dimensionamiento (caso habitual)

Los volúmenes de los macizos de anclaje de hormigón propuestos a continuación han sido calculados teniendo en cuenta a la vez el rozamiento de la superficie inferior del macizo con el terreno, así como el apoyo del macizo sobre el cuerpo de la zanja, por ser estas las condiciones habituales. En caso de realizar labores de trabajo en las inmediaciones del macizo, que puedan requerir del movimiento de tierras en el entorno, es conveniente realizar una reducción de presión de la canalización durante la ejecución de dichas labores.

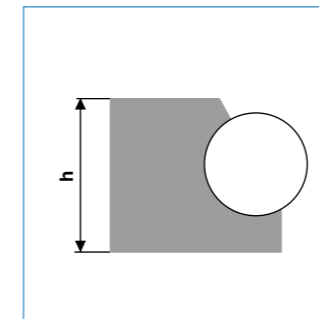
Las hipótesis de cálculo se muestran a continuación. Para cualquier otra hipótesis, consular **PAM**

#### ● Fuerzas actuantes (Macizo de anclaje de hormigón)



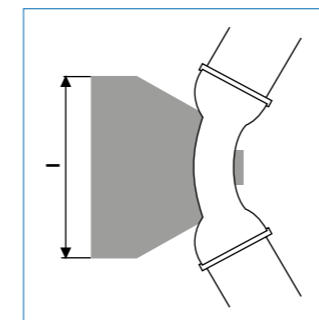
- F: empuje hidráulico
- P: peso del macizo
- W: peso de las tierras
- B: apoyo sobre el cuerpo de la zanja
- f: rozamiento de la superficie inferior con el terreno
- H: Altura de cobertura

## 2.5 MACIZOS DE ANCLAJE DE HORMIGÓN



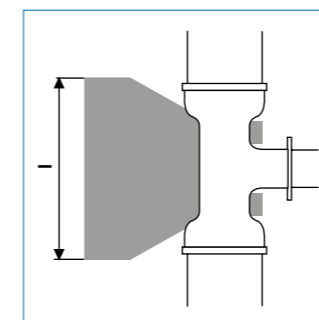
#### ● Terreno

- Φ: ángulo de rozamiento interno del terreno
- σ: resistencia admisible del terreno sobre la pared vertical
- H: altura de cobertura: 1,20m
- γ: peso específico
- Características mecánicas:
- Tabla 1: Φ=40°; σ≈1 daN/cm<sup>2</sup>; γ=2t/m<sup>3</sup> (terreno con buena capacidad mecánica\*),
- Tabla 2: Φ = 30°; σ ≈ 0,6 daN/cm<sup>2</sup>; γ = 2 t/m<sup>3</sup> (terreno con capacidad mecánica media\*)
- Ausencia de nivel freático.
- \*Ver SUELOS (CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS) página 53



#### ● Hormigón

Peso específico: 2,3t/m<sup>3</sup>



#### ● Ejemplo

- Codo 1/16; DN250
- Presión de prueba: 10bar
- Altura de cobertura: 1,2m
- Terreno arcilloso: Φ = 30° γ = 2 t/m<sup>3</sup>
- Datos de la tabla 2:
- l x h = 0,70m x 0,45m
- V = 0,25 m<sup>3</sup>

### Consejos de ejecución

Es importante que el hormigón sea vertido directamente sobre el terreno, así como que éste sea de una resistencia mecánica suficiente.

En el diseño y ejecución de los macizos de anclaje debe evitarse embeber en hormigón las uniones de los accesorios y tubos, con el fin de permitir su inspección posterior durante la prueba de estanqueidad de la red.



## 2.5 MACIZOS DE ANCLAJE DE HORMIGÓN

Ángulo de rozamiento interno:  $\Phi = 30^\circ$   
 Resistencia:  $\sigma \approx 0,6 \text{ daN/cm}^2$   
 Peso específico:  $\gamma = 2 \text{ t/m}^3$   
 Altura de cobertura:  $H = 1 \text{ m}$   
 Sin presencia de nivel freático.

Terreno de capacidad de mecánica media						
DN	Presión de prueba	Codo 1/32 l x h/V	Codo 1/16 l x h/V	Codo 1/8 l x h/V	Codo 1/4 l x h/V	Brida ciega o válvula l x h/V
	bar	m x m/m <sup>3</sup>	m x m/m <sup>3</sup>	m x m/m <sup>3</sup>	m x m/m <sup>3</sup>	m x m/m <sup>3</sup>
60	10	0,11 x 0,16/0,01	0,14 x 0,26/0,01	0,26 x 0,26/0,03	0,46 x 0,26/0,06	0,33 x 0,26/0,03
	16	0,17 x 0,16/0,02	0,21 x 0,26/0,02	0,40 x 0,26/0,05	0,69 x 0,26/0,14	0,51 x 0,26/0,07
	25	0,17 x 0,26/0,02	0,33 x 0,26/0,03	0,60 x 0,26/0,10	1,01 x 0,26/0,29	0,75 x 0,26/0,16
80	10	0,15 x 0,18/0,02	0,20 x 0,28/0,02	0,38 x 0,28/0,05	0,65 x 0,28/0,13	0,48 x 0,28/0,07
	16	0,16 x 0,28/0,02	0,31 x 0,28/0,04	0,57 x 0,28/0,10	0,97 x 0,28/0,29	0,73 x 0,28/0,16
	25	0,25 x 0,28/0,03	0,47 x 0,28/0,07	0,84 x 0,28/0,22	1,13 x 0,38/0,53	1,06 x 0,28/0,34
100	10	0,19 x 0,20/0,04	0,26 x 0,30/0,04	0,49 x 0,30/0,08	0,84 x 0,30/0,23	0,62 x 0,30/0,13
	16	0,21 x 0,30/0,03	0,41 x 0,30/0,06	0,74 x 0,30/0,18	1,01 x 0,40/0,45	0,93 x 0,30/0,29
	25	0,33 x 0,30/0,05	0,61 x 0,30/0,12	1,08 x 0,30/0,38	1,44 x 0,40/0,92	1,10 x 0,40/0,53
125	10	0,18 x 0,33/0,03	0,35 x 0,33/0,06	0,64 x 0,33/0,15	0,90 x 0,43/0,38	0,81 x 0,33/0,24
	16	0,29 x 0,33/0,05	0,54 x 0,33/0,10	0,96 x 0,33/0,33	1,32 x 0,43/0,81	0,99 x 0,43/0,46
	25	0,43 x 0,33/0,07	0,80 x 0,33/0,23	1,15 x 0,43/0,62	1,86 x 0,43/1,61	1,42 x 0,43/0,95
150	10	0,23 x 0,35/0,04	0,44 x 0,35/0,09	0,80 x 0,35/0,25	1,12 x 0,45/0,62	0,84 x 0,45/0,35
	16	0,36 x 0,35/0,07	0,67 x 0,35/0,17	0,99 x 0,45/0,49	1,62 x 0,45/1,30	1,23 x 0,45/0,75
	25	0,54 x 0,35/0,11	0,82 x 0,45/0,33	1,42 x 0,45/1,00	2,00 x 0,55/2,41	1,54 x 0,55/1,43
200	10	0,33 x 0,40/0,08	0,62 x 0,40/0,17	0,94 x 0,50/0,49	1,38 x 0,60/1,26	1,18 x 0,50/0,76
	16	0,51 x 0,40/0,13	0,79 x 0,50/0,35	1,38 x 0,50/1,05	1,97 x 0,60/2,57	1,52 x 0,60/1,52
	25	0,64 x 0,50/0,23	1,15 x 0,50/0,73	1,74 x 0,60/2,00	2,32 x 0,80/4,74	1,94 x 0,70/2,91
250	10	0,43 x 0,45/0,14	0,69 x 0,55/0,29	1,09 x 0,65/0,85	1,63 x 0,75/2,19	1,35 x 0,65/1,31
	16	0,57 x 0,55/0,20	1,03 x 0,55/0,64	1,59 x 0,65/1,80	2,16 x 0,85/4,35	1,79 x 0,75/2,64
	25	0,84 x 0,55/0,43	1,33 x 0,65/1,26	2,04 x 0,75/3,44	2,66 x 1,05/8,18	2,32 x 0,85/5,02
300	10	0,53 x 0,50/0,22	0,85 x 0,60/0,48	1,34 x 0,70/1,39	1,87 x 0,90/3,46	1,53 x 0,80/2,06
	16	0,70 x 0,60/0,33	1,14 x 0,70/1,00	1,79 x 0,80/2,81	2,38 x 1,10/6,86	2,05 x 0,90/4,15
	25	1,03 x 0,60/0,70	1,50 x 0,80/1,99	2,21 x 1,00/5,37	3,01 x 1,30/12,92	2,38 x 1,30/8,13
350	10	0,55 x 0,65/0,22	0,92 x 0,75/0,69	1,47 x 0,85/2,03	2,10 x 1,05/5,09	1,71 x 0,95/3,04
	16	0,83 x 0,65/0,50	1,25 x 0,85/1,47	1,89 x 1,05/4,13	2,62 x 1,35/10,22	2,13 x 1,25/6,22
	25	1,11 x 0,75/1,01	1,67 x 0,95/2,93	2,34 x 1,35/8,13	3,52 x 1,35/18,40	2,81 x 1,35/11,69
400	10	0,64 x 0,70/0,31	1,06 x 0,80/0,98	1,60 x 1,00/2,82	2,18 x 1,40/7,31	1,87 x 1,10/4,24
	16	0,88 x 0,80/0,68	1,44 x 0,90/2,07	1,97 x 1,40/5,96	3,00 x 1,40/13,87	2,37 x 1,40/8,68
	25	1,19 x 0,90/1,41	1,84 x 1,10/4,09	2,68 x 1,40/11,08	4,01 x 1,40/24,73	3,21 x 1,40/15,82

Para otros casos, consultar **PAM**

## 2.6 COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Las solicitaciones mecánicas (presión interna, cargas interiores) a las que son sometidas la canalización durante su puesta en servicio y vida útil, deben ser evaluadas con precisión. Dado que en muchos casos resulta difícil la estimación de dichas solicitaciones, el diseño y concepción de las canalizaciones en fundición dúctil es realizado con coeficientes de seguridad muy elevados, que permiten asegurar sus prestaciones durante toda su vida útil.

### Coeficientes de seguridad mínimos especificados

$$\sigma_{Trabajo(tracción)} \leq \frac{Rm(tracción)}{3}$$

$$\sigma_{Trabajo(flexión)} \leq \frac{Rm(flexión)}{2}$$

$$\frac{\Delta D}{D} \leq 4\%$$

Los tubos son dimensionados según los criterios de la norma EN545:

-**Presión interna:** la tensión de trabajo en la pared de la tubería no debe exceder de un tercio de la tensión de rotura límite (que corresponde a la mitad del límite elástico a tracción);

-**Cargas exteriores;** La deformación no debe provocar:

- Una tensión superior a la mitad del límite de rotura a flexión
- Una ovalización máxima superior al 4%



La deformación máxima del 4% es recomendada por la norma EN 545 para garantizar la buena adherencia y comportamiento del mortero de cemento (especialmente en DN>800)

### Coeficientes de seguridad

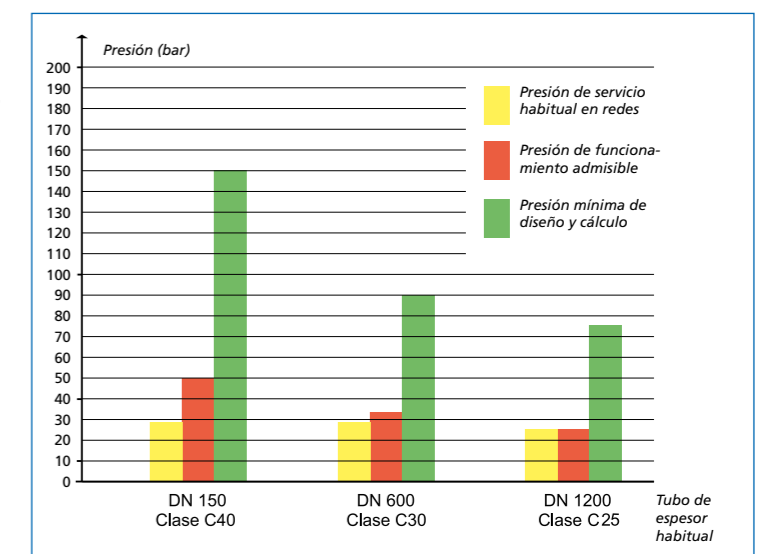
Los tubos **PAM** disponen, más allá de su ámbito de funcionamiento nominal (Presión de Funcionamiento Admisible, Alturas de cobertura), de una importante reserva de seguridad.

A tal efecto:

- La ductilidad del material dota a los productos en fundición dúctil de una capacidad de absorción de cargas de trabajo, por debajo de su límite elástico.
- Los métodos utilizados para el cálculo y dimensionamiento de las piezas y productos incorporan coeficientes de seguridad muy elevados,

Todo ello puede verse ilustrado en la gráfica que se muestra a continuación.

Ejemplo de seguridad frente a la presión interna



## 2.7 GOLPE DE ARIETE

Durante la concepción y diseño de una red a presión, deben ser estudiados los riesgos de producirse un golpe de ariete, así como su magnitud, con el fin de disponer en la instalación de los elementos de protección que lo controlen. En aquellos casos en los que los dispositivos de protección no hayan sido correctamente dimensionados, instalados, o ante posibles problemas durante su funcionamiento, las tuberías de fundición dúctil ofrecen una reserva de seguridad gracias a sus elevadas capacidades mecánicas. En cualquier caso, el diseño y mantenimiento de los dispositivos de protección frente al golpe de ariete, son vitales para garantizar el correcto funcionamiento de todos los elementos de la red.

### Orígenes

Aquellos casos en los que se producen modificaciones bruscas de la velocidad del fluido en una canalización, conllevan un cambio brusco de la presión. Este fenómeno transitorio, llamado golpe de ariete, se genera habitualmente durante la intervención y manipulación de aparatos de la red (bombas, válvulas...). Estos fenómenos originan ondas longitudinales de sobrepresión y depresión, que se propagan a lo largo de la canalización con una velocidad "a" llamada celeridad de onda.

Los golpes de ariete pueden tanto en conducciones a presión por gravedad como en impulsiones, y tienen por origen las siguientes causas principales:

- Una parada brusca de bombas
- Un cierre no controlado de válvulas, hidrantes, elementos de protección contra incendio o desagües
- La presencia de aire
- Un mal dimensionamiento o funcionamiento de los elementos de protección

### Consecuencias

Las sobrepresiones ocasionadas por el golpe de ariete pueden acarrear, en los casos más críticos, el colapso de las canalizaciones, cuando estas no dispongan de una reserva mecánica suficiente. Las depresiones originadas, por su parte, pueden ocasionar problemas de cavitación, especialmente peligrosos para los aparatos de control y medida.

### Evaluación simplificada

$$\text{Celeridad de la onda: } a = \sqrt{\frac{1}{\rho \left( \frac{1}{\varepsilon} + \frac{D}{Ee} \right)}}$$

$$\text{Sobrepresión-Depresión: } \Delta H = \pm a \frac{\Delta V}{g} \text{ (ALLIÉVI) (1)}$$

$$\Delta H = \pm \frac{2L\Delta V}{gt} \text{ (MICHAUD) (2)}$$

## 2.7 GOLPE DE ARIETE

donde:

- a : celeridad de la onda (m/s)
- $\rho$  : peso específico del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>)
- $\varepsilon$  : módulo de elasticidad de agua (2,05.10<sup>9</sup> N/m<sup>2</sup>)
- E : módulo de elasticidad del material (fundición: 1,7.10<sup>11</sup> N/m<sup>2</sup>)
- D : diámetro interior (m)
- e : espesor de la canalización (m)
- $\Delta V$  : valor absoluto de la variación de velocidad en régimen permanente antes y después del golpe de ariete (m/s)
- $\Delta H$  : valor absoluto de la variación de presión máxima sobre la presión estática (mca)
- L : longitud del tramo de canalización (m)
- t : tiempo de cierre efectivo (s)
- g : aceleración gravitacional (9,81 m/s<sup>2</sup>).

En la práctica, la celeridad de la onda para el agua en una tubería de fundición dúctil es del orden de 1200 m/s.

La fórmula (1) se aplica ante una variación rápida de la velocidad de fluido (cierre rápido):

$$\left( t \leq \frac{2L}{a} \right).$$

La fórmula (2) se aplica ante una variación lineal de la velocidad de fluido a lo largo del tiempo (cierre lento), procedimiento habitual en el cierre u operación controlado de elementos:

$$\left( t \geq \frac{2L}{a} \right).$$

Estas fórmulas simplificadas ofrecen una evaluación máxima del golpe de ariete y deben ser utilizadas con prudencia. En ellas se supone que la conducción no está equipada con dispositivos de protección y que las pérdidas de carga son despreciables. Además, en ellas no se tiene en cuenta factores limitantes, como el funcionamiento de turbinas o rotores en equipos de bombeo, así como la presión de vapor en el caso de las depresiones..

### Ejemplos

Tubería DN1200, no es una clase habitual en este DN, de longitud 1000m y velocidad 1,5m/s, con una celeridad de a=1200m/s

- Caso nº 1: parada brusca del bombeo (despreciando pérdidas de carga y sin tener en cuenta protecciones frente al golpe de ariete)

$$\Delta H = \pm \frac{1200 \times 1,5}{9,81} = 183 \text{ m (aproximadamente 18 bars)}$$

- Caso nº 2: maniobra de cierre en una válvula (tiempo de cierre: 3 segundos):

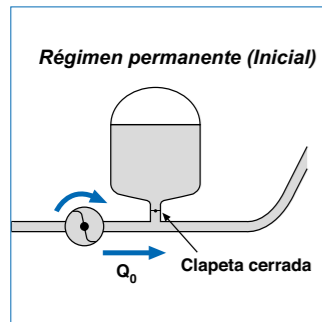
$$\Delta H = \pm \frac{2 \times 1000 \times 1,5}{9,81 \times 3} = 102 \text{ m (aproximadamente 10 bars)}$$

### Evaluación completa

La metodología gráfica de BERFERON para la estimación del golpe de ariete, permite determinar con precisión las presiones y caudales generados por el golpe de ariete, en función del tiempo, en todos los puntos de una canalización.

Hoy en día existen softwares informáticos que permiten realizar modelizaciones de los fenómenos transitorios, posibilitando conocer con elevada precisión las sobrepresiones y consecuencias de los posibles golpes de ariete.

## 2.7 GOLPE DE ARIETE

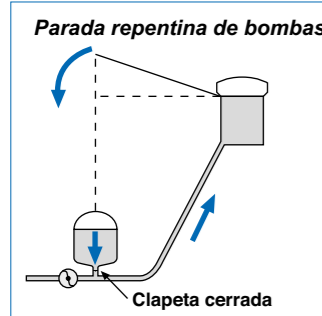


### Prevención

Los elementos de protección que pueden ser dispuestos en una canalización para minimizar y controlar los efectos de un golpe de ariete son variados. Su selección y dimensionamiento debe ser estudiado y adaptado a cada caso.

Durante el diseño de la red se deben determinar las envolventes de sobrepresión y depresión generadas por el golpe de ariete a lo largo de la traza de la canalización, valorándose las necesidades de disponer de elementos que o bien minoren los valores calculados, o bien protejan frente a los mismos.

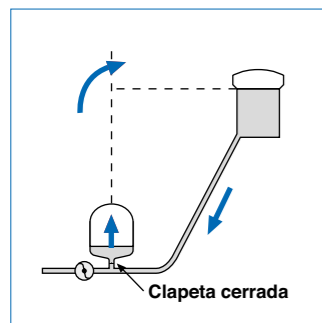
Los principios de funcionamiento de estos elementos se basan por lo general en ralentizar los cambios de velocidad del fluido o en limitar los efectos de las sobrepresiones y depresiones que se originen.



Los principales elementos de protección son:

- Volante de inercia en bombas
- Válvula de alivio
- Calderín
- Chimenea de equilibrio
- Elementos de aireación

Los calderines son quizás uno de los elementos más habituales, garantizando una elevada eficacia. Su funcionamiento se basa en la disposición de un volumen de agua almacenado en el interior del calderín y afectado por un volumen de aire a presión. Ante procesos de sobrepresión, el calderín actúa absorbiendo volúmenes de agua en su interior, con la consiguiente compresión del aire almacenado. Ante el proceso de depresión, los volúmenes de aire a presión y agua almacenados calderín generan un caudal que compensa dichas depresiones.



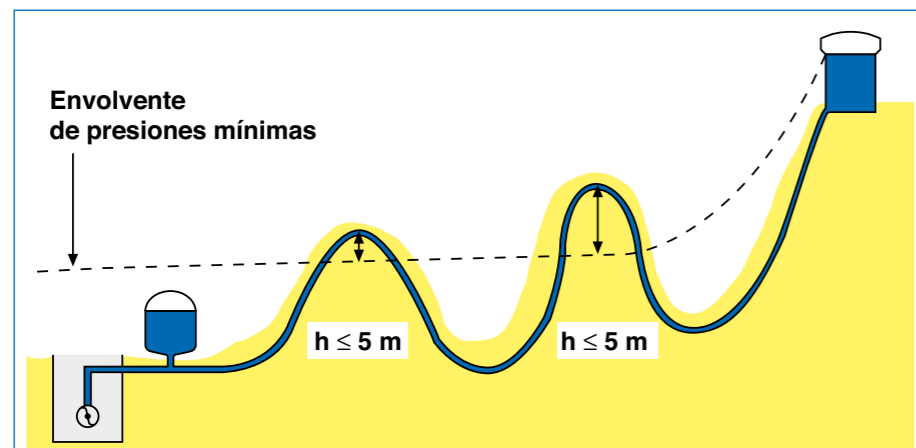
El perfil de la canalización, las condiciones de funcionamiento y los escenarios de generación de los transitorios, son determinantes en el dimensionamiento del calderín.

Es importante recalcar que las canalizaciones de fundición dúctil cuentan, en todo caso, con importantes reservas mecánicas que le permiten soportar grandes sobrepresiones. Además, su elevada rigidez diametral y el diseño de sus uniones enchufadas, suponen una garantía

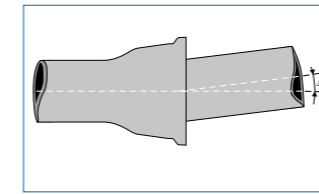
de comportamiento frente a los procesos de depresión.



- Frente a sobrepresiones: **PAM** permite absorber presiones de hasta un 20% superior a la presión de funcionamiento admisible. Ver PRESIÓN DE FUNCIONAMIENTO ADMISIBLE página 33;
- Frente a depresiones: las uniones garantizan la estanqueidad, incluso frente a vaciados parciales de la canalización.



## 2.8 DESVIACIÓN ANGULAR EN LAS UNIONES



Las uniones a enchufe de **PAM** admiten desviación angular. Las ventajas principales que estas desviaciones ofrecen son, la absorción de movimientos de terreno durante la vida útil de la tubería y la capacidad de adaptarse a trazados curvos sin necesidad de utilizar codos o accesorios. Una mayor desviación angular, supone, por tanto, una mejora técnica en el diseño y ejecución de la canalización, y un aumento de la seguridad de ésta durante su vida útil.

### Desviación angular (expresada en grados)

DN	Unión no acerrojada		Unión acerrojada		
	STANDARD	STANDARD VI	STANDARD VE	UNI VI	UNI VE
60	5	5			
80	5	5	5	3	3
100	5	5	5	3	3
125	5	5	5	3	3
150	5	5	5	3	3
200	5	4	4	3	3
250	5	4	4	3	3
300	5	3	4	3	3
350	4	3	3	3	3
400	4	2	3	3	3
450	4	2	3	3	3
500	4	2	3	2	3
600	4	2	3	2	2
700	4	2	2		2
800	4		2		2
900	4		1,5		1,5
1000	4		1,5		1,2
1100	4		1,5		
1200	4		1,5		1,1
1400	3				1,2
1500	3				0,9
1600	3				0,9
1800	2,5				
2000	2				

### Otras uniones:

- BLUTOP®, BLUTOP® Vi

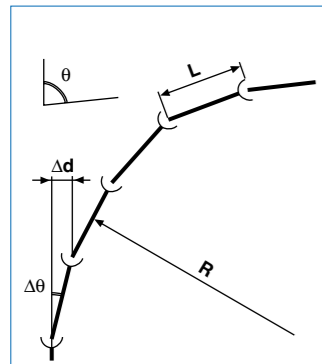
DN / DE	Desviación admisible de la unión
75	6°
90	6°
110	6°
125	6°
140	6°
160	6°

## 2.8 DESVIACIÓN ANGULAR EN LAS UNIONES

### ● Desplazamiento y radio de curvatura:



Ciertas curvaturas, especialmente si disponen de un gran radio de curvatura, pueden ser fácilmente realizadas mediante el uso de las desviaciones angulares, sin necesidad de recurrir a la instalación de codos o accesorios. Para ello, durante la labor de enchufado, los tubos deben quedar estar totalmente alineados, horizontal y verticalmente. La desviación debe aplicarse una vez que la tarea de enchufado a finalizado.



• Radio de curvatura:  $R = \frac{L}{2 \sin \frac{\Delta\theta}{2}}$

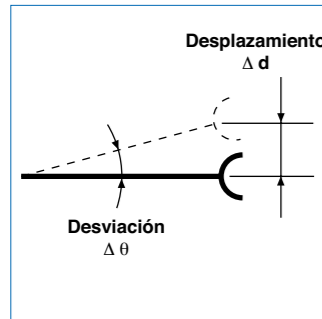
• Número de tubos necesarios para realizar un cambio de dirección dado:

$$N = \frac{\theta}{\Delta\theta}$$

• Longitud del cambio de dirección:  $C = N \times L$

Donde,

- $\Delta d$  : desplazamiento del tubo (en m)
- $L$  : longitud del tubo (en m)
- $\theta$  : ángulo de cambio de dirección (en grados)
- $\Delta\theta$  : desviación de la unión (en grados)
- $C$  : longitud del cambio de dirección (en m)



Desviación angular °	longitud de los tubos					
	6 m		7 m		8 m	
	Radio de curvatura m	desplazamiento cm	Radio de curvatura m	desplazamiento cm	Radio de curvatura m	desplazamiento cm
1	-	-	401	12	458	14
2	172	21	201	24	229	28
3	115	31	134	37	153	42
4	86	42	100	49	115	56
5	69	52	-	-	-	-
6	57	63	-	-	-	-

Los radios de curvatura varían en función de la longitud útil de los tubos, pudiendo estos superar los 8 metros en DN>1000.

## 3 ENTORNO EN LAS INSTALACIONES

### 3.1 TERRENOS (CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS)

Los valores indicados en las tablas que se muestran a continuación, son habitualmente utilizados para la caracterización de los terrenos existentes en la mayoría de instalaciones. Esta caracterización permite la utilización de las fórmulas y expresiones de cálculo simplificadas citadas en el presente catálogo.

#### Características medias de terrenos habituales

Naturaleza del terreno	Seco/Húmedo		Sumergido	
	Φ	γ	Φ	γ
	grados	t/m <sup>3</sup>	grados	t/m <sup>3</sup>
Suelos rocosos	40°	2	35°	1,1
Gravas y arenas	35°	1,9	30°	1,1
Gravas y arenas Limosas o arcillosas	30°	2	25°	1,1
Limos y arcillas	25°	1,9	15°	1
Terrenos vegetales u orgánicos	15°	1,8	Sin posibilidad de caracterización media	

Φ: Ángulo de rozamiento interno      γ: Peso específico (en t/m<sup>3</sup>)

#### Clasificación de terrenos

Grupo de terrenos	Descripción
G1	Arenas y gravas limpias o ligeramente limosas con elementos inferiores a 50 mm.
G2	Arenas, gravas, poco arcillosas.
G3	Arenas y gravas limosas, limos poco plásticos, (Ip<12)
G4	Arenas y gravas arcillosas o muy arcillosas, arenas finas arcillosas, limos arcillosos y margas poco plásticas (IP<25)
G5	Arcillas y arcillas margosas (IP<25)

### 3.2 TERRENOS INESTABLES

Las uniones mediante enchufe, con junta elastomérica, dotan a las canalizaciones de fundición dúctil de una flexibilidad que constituye una garantía de seguridad en su instalación en terrenos inestables.

El trazado de una canalización puede discurrir por terrenos de baja capacidad portante o inestables (zonas pantanosas, deslizamientos o asentamientos por afección de aguas subterráneas, terrenos mineros, terraplenes con potenciales asentamientos...)

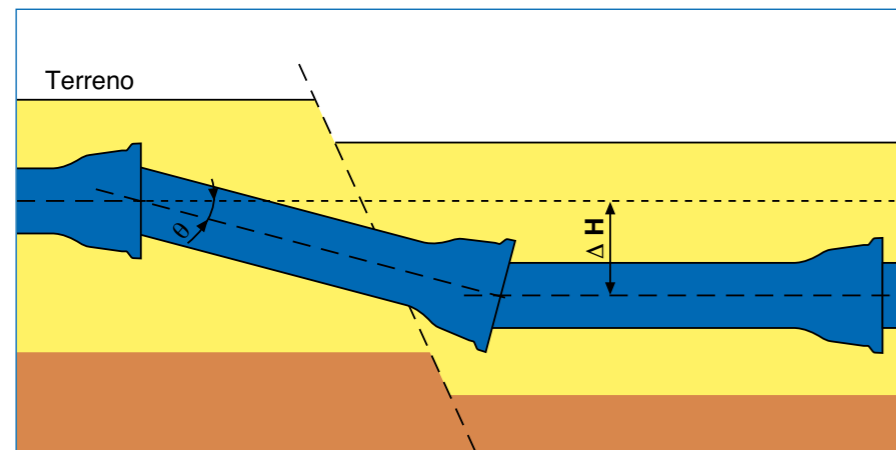
En cada uno de estos casos, conviene prever el impacto de los mismos y tomar todas las medidas y precauciones preventivas que permitan minimizar los efectos de tales movimientos de terreno sobre la canalización.

La experiencia nos ha mostrado que durante un movimiento de terreno que afecta a una canalización, es conveniente facilitar a la misma someterse a las deformaciones impuestas por las masas de tierras, en lugar de intentar resistir los esfuerzos mecánicos que estas generan.



Con este propósito, las uniones con enchufes PAM se constituyen como articulaciones en la instalación que generan una resistencia nula a la flexión. Así, para movimientos de tierras extensos y uniformes, las uniones con enchufes PAM confieren a la canalización un comportamiento de "cadena flexible", en las que la capacidad de movimiento es igual a la proporcionada por su desviación angular máxima.

#### Desplazamiento admisible gracias a la desviación angular de las uniones



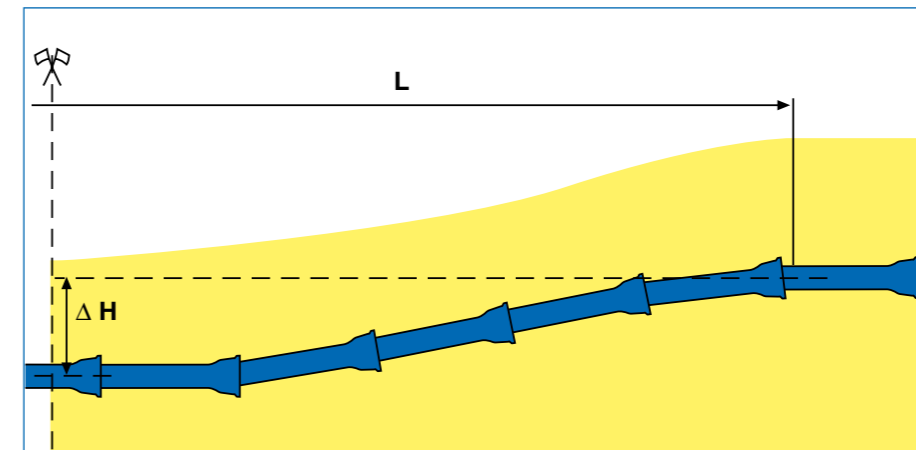
Desplazamiento:  $\Delta H = l \operatorname{tg} \theta$   
 Deslizamiento axial:  $\Delta l = (\Delta H^2 + l^2)^{1/2} - l$   
 $l$ : longitud del tubo (en m)  
 $\theta$ : desviación angular admisible

### 3.2 TERRENOS INESTABLES

#### Ejemplos

Para  $\Delta H = 0,30$  m en DN 200  
 $\theta = 3^\circ$  (5° admisibles)  
 $\Delta l = 7$  mm (20mm admisibles con la junta STANDARD)  
 NO existe riesgo de desenchufado de la unión, pudiendo ser absorbido todo el deslizamiento por la unión.

#### Comportamiento de cadena



$$\text{Desplazamiento } \Delta H = 2l \left( \operatorname{tg} \theta + \operatorname{tg} 2\theta + \operatorname{tg} 3\theta + \dots + \operatorname{tg} \frac{n}{4} \theta \right)$$

$$\text{Elongación axial: } \Delta L \approx \left( L^2 + \frac{16}{3} \Delta H^2 \right)^{1/2} - L \text{ (para } \theta \text{ muy pequeños)}$$

$l$  = longitud del tubo

$L$  = longitud del tramo afectado

$n$  = número de tubos en el tramo  $\left( n = \frac{L}{l} \right)$



La canalización tiende a adoptar una deformación similar a la generada en el terreno, hasta alcanzar los límites de desenchufado, en función del juego y desviación admisible de las uniones utilizadas.

**Importante:** En el caso de deslizamientos que ocasionaran elongaciones importantes, una solución factible es disponer de uniones acerrojadas en el tramo inestable, junto con manguitos, que, situados en los puntos limítrofes de las zonas inestables, compensen tales elongaciones.

#### Ejemplos

En DN 300, para  $\Delta H = 0,5$  m y  $L = 300$  m :  
 $\theta_{\text{media}} = 0,04^\circ$  (5° admisible)  
 $\Delta L = 3$  mm  
 Una sola unión puede soportar una elongación de 3mm para una curvatura en un tramo de 300m generada por un desplazamiento de 0,5m en su centro.



### 3.3 ZANJA

La realización de las zanjas y terraplenes dependen de los siguientes parámetros:

- Características del entorno (superficie disponible, afecciones externas)
- Características de la conducción (tipo de unión y diámetro)
- Naturaleza del terreno (con o sin agua)
- Profundidad de la instalación

Las recomendaciones de instalación presentadas a continuación pueden ser prescritas de forma general para las canalizaciones de fundición dúctil.

#### Trabajos previos preparatorios

Se debe realizar un estudio completo del entorno de la traza, identificando y delimitando las afecciones de otros servicios o instalaciones que puedan afectar a la misma. Es recomendable realizar inspecciones reales sobre el terreno, con la finalidad de verificar la existencia de tales servicios, así como identificar otros posibles servicios o afecciones de los que no se tengan conocimiento registrado, asegurando la concordancia entre las hipótesis del proyecto y las condiciones reales de ejecución.

#### Excavación

En excavaciones bajo calzada, es necesario prever la demolición de las capas de rodadura, base o sub-base, así como de todos los elementos afectados. Se recomienda, además, aumentar la zona de fresado de las capas asfálticas sobre la zona de excavación para facilitar así la transición entre el asfalto existente y la reposición que se haga una vez finalizada la instalación. Por todo ello se requerirá de una zona de afección ligeramente más ancha a la propia de la zanja.

La excavación de la zanja se realiza con medios mecánicos, siendo lo más habitual el uso de una pala excavadora, cuyas características serán adaptadas al diámetro del tubo a instalar, a la profundidad de la instalación, así como a la tipología de suelo existente.

#### Ancho de zanja

La anchura de la zanja está condicionada por el diámetro nominal (DN) de la canalización, la naturaleza del terreno y la profundidad instalación, además de afectar a la tipología y métodos de blindaje y compactado requeridos.

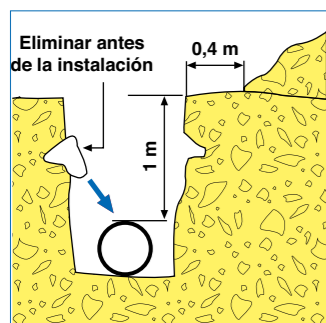
Para su ejecución se tendrá en cuenta:

- Estabilización de la pared de zanja, bien mediante ataluzado, bien mediante uso de blindaje o entibación.
- Limpieza y examen de la pared de zanja, eliminando posibles bolos o elementos inestables que puedan originar inestabilidad y desprendimientos.
- Como precaución, mantener una berma de 0,4 metros entre la zona de acopio de escombros y restos de excavación y el borde de zanja.

#### Profundidad de la zanja

El fascículo 71, recomendación francesa para el cálculo mecánico de tuberías enterradas, en su artículo 47, indica: "Las zanjas serán estabilizadas en cada punto a la profundidad indicada por el perfil longitudinal. Salvo estipulaciones diferentes del CCTP, la profundidad normal de las zanjas será aquella tal que el espesor de relleno no sea inferior a un metro sobre la generatriz superior del tubo..."

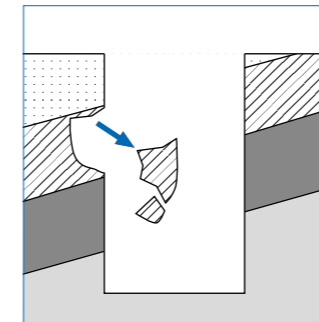
Esta altura se justifica por la necesidad de protección frente a heladas.



### 3.3 ZANJA

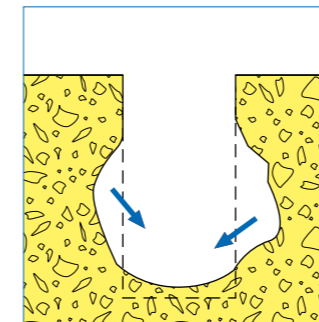
#### Naturaleza de los terrenos

Los terrenos pueden ser clasificados en tres grandes categorías, en función de su cohesión:



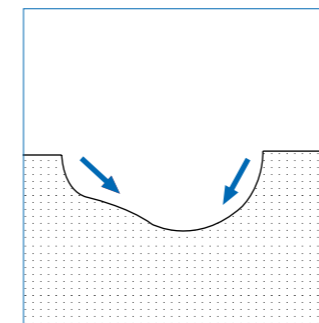
#### ● Terrenos rocosos

Se caracterizan por disponer de una gran cohesión, que dificultan los trabajos de excavación, pero que no eliminan la posibilidad de deslizamientos o desprendimientos. En ocasiones pueden encontrarse terrenos rocosos fisurados, que provocan la aparición de bolos o bloques, que conviene eliminar y/o asegurar durante las labores de excavación previas a la instalación.



#### ● Terrenos blandos

Son los terrenos más comunes. Presentan cierta cohesión que, durante los trabajos de excavación, les confiere cierta estabilidad. Esta cohesión puede variar muy rápidamente bajo los efectos ya citados, como son, presencia de capa freática, existencia de instalaciones afectadas, etc, que pueden originar desprendimientos o deslizamiento en las paredes de la zanja.



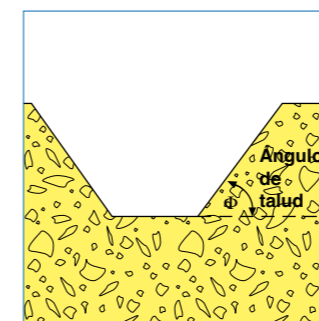
#### ● Terrenos inestables

Son terrenos desprovistos de toda cohesión, tales como arenas secas, que se repliegan de forma prácticamente instantánea. Todo trabajo realizado en dicho terreno, necesita de una puesta en obra mediante procedimientos especiales.

Es imperativo, por tanto, proteger la integridad del material y de los trabajadores mediante:

- Grandes ataluzamientos
- Blindajes y entibaciones de las paredes de zanja,

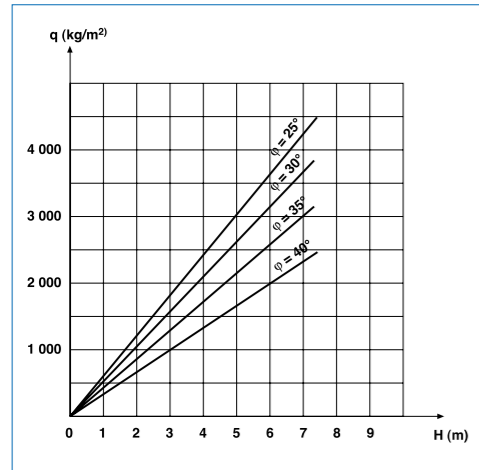
La selección de los diferentes elementos de contención deberá, además, tener en cuenta la afección sobre el entorno, pudiendo variar estas entre ambientes urbanos y rurales, y en cuanto a la profundidad de la instalación.



#### El ataluzamiento

Su uso es difícilmente aplicable en medios urbanos, debido a la necesidad de superficie que conlleva. Consiste en dotar a las paredes de una inclinación, denominada ángulo de talud, que debe ser de magnitud similar, al ángulo de rozamiento interno del terreno. Este ángulo varía, por tanto, con la naturaleza de los terrenos excavados.

### 3.3 ZANJA



#### Blindajes y entibados

Las técnicas de blindaje y entibado de zanjas son numerosas, siendo importante el estudio de los condicionantes de cada una de ellas antes del inicio de las labores de excavación.

El blindaje debe ser realizado en los casos previstos por la reglamentación en vigor o, de manera general, cuando la naturaleza del terreno lo exija.

#### Técnicas de blindaje más habituales:

- Mediante paneles de madera o diferentes elementos prefabricados.
- Blindaje por cajón, en madera o metálico
- Blindaje mediante micropilotado

Sea cual sea el procedimiento utilizado, es necesario tener en cuenta la presión de las tierras. Los paneles puestos en obra deben ser capaces de resistir un empuje de igual magnitud que el obtenido según la siguiente expresión:

$$q = 0,75 \gamma H \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

- $\gamma$  : peso específico del terreno en (en kg/m<sup>3</sup>)
- $\varphi$  : ángulo de rozamiento interno.
- $q$  : empuje del terreno.
- $H$  : profundidad en metros.

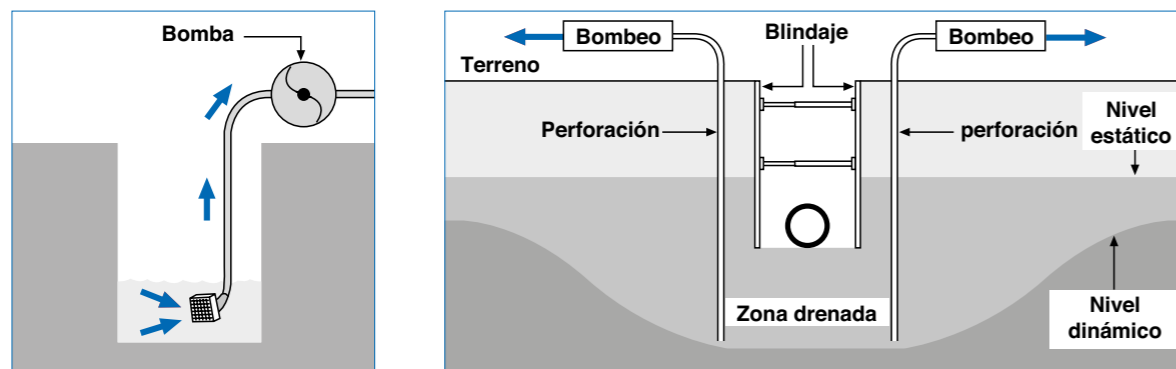
#### Fondo de zanja

El fondo de zanja debe estar nivelado según la necesidad del perfil longitudinal de la canalización y debe eliminarse del mismo de cualquier resto rocoso, así como de elementos orgánicos o restos antrópicos. Debe asegurarse siempre el correcto apoyo del tubo sobre el terreno en la totalidad de su longitud.

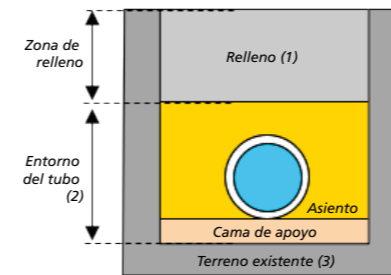
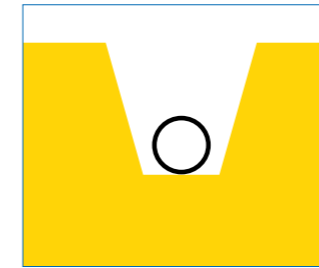
**Presencia de agua:** la excavación debe ser realizada desde niveles más bajos a niveles superiores, de manera que se permita la autoevacuación del agua al fondo de la zanja.

Cuando la zanja se realice por completo en terrenos sometidos a la presencia de nivel freático, puede ser necesario realizar acciones de drenaje mediante:

- Bombeo, mediante equipos situados directamente en la excavación o inmediatamente al lado.
- Rebaje de la capa freática mediante acciones colindantes.



### 3.3 ZANJA



#### Cama de apoyo, acondicionamiento y relleno.

##### Cama de apoyo:

El fondo de zanja constituye la zona de apoyo del tubo. En el caso en que el terreno existente no presenta grandes valores de granulometría y es relativamente homogéneo, se puede acometer una colocación directa de la tubería sobre el fondo de zanja.

En cualquier caso, es necesario asegurar el correcto apoyo del tubo, sobre todo en los casos de grandes diámetros. En aquellos casos en la que la colocación directa sobre el terreno existente no sea posible, será necesario disponer de una cama de apoyo para la tubería, compuesta por principalmente arena, o grava homogénea, con un espesor del orden de 10cm.

Los diferentes tipos de acondicionamiento, relleno y compactado pueden consultarse en la tabla ALTURAS DE COBERTURA que se presenta en la página 63, y que son definidas en función de:

- Condiciones externas (existencia de cargas de tierras, cargas rodantes y calidad del relleno)
- Diámetro de la canalización
- Naturaleza del terreno colindante

##### Granulometría

Los valores límites establecidos en la tabla que se muestra a continuación, deben aplicarse en la definición del acondicionamiento de las zanjas, en el entorno del tubo, hasta 15cm por encima de la generatriz superior del tubo:

Naturaleza del Revestimiento	Materiales de aportación de naturaleza granular y calcárea	Materiales de aportación de diferente naturaleza a la calcárea (4)	Relleno con material procedente de la excavación (Dmax)
Biozinalium + Aquacoat	0-31,5 (1) Parte que pasa por 63 mm inf. a 2%	0-16 Parte que pasa por 32 mm inf. a 2%	63 mm (92% < 32 mm)
Zinc + Pintura sintética	0-6,3 (3) Part 12 mm inf. a 2%	0-4 Part 8 mm inf. a 2%	12 mm (92% < 6 mm)
TT PE (polietileno extruido)	0-63 Parte que pasa por 100 mm inf. a %	0-63 Parte que pasa por 100 mm inf. a %	100 mm (92% < 63mm)
TT PUX (poliuretano + epoxi en los extremos del tubo)	0-2 (2) Arena	0-2 Arena	2 mm Arena

(1) Materiales granulares que presentan un escasas angulosidad y una dureza media débil (gravas, cantos rodados) y calcáreas de granulometría 0/31,5. (2) Arenas gruesas, granulometría 0-2mm. (3) Gravitas finas, con un más del 50% con D>2mm, Granulometría: 0/4 - 2/4 - 0/6,3 - 2/6,3 - 4/6,3. (4) Materiales finos con una dureza elevada, así como elevada angulosidad, materiales naturales (gravas, elementos rocosos, sílex) materiales artificiales o materiales reciclados.

NOTA: Los diferentes revestimientos exteriores no están disponibles para todos los diámetros. Consultar.

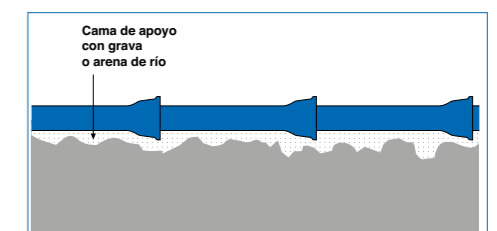
##### Acondicionamiento del entorno del tubo

Se debe distinguir entre:

- El acondicionamiento del material existente en el entorno del tubo, para aquellos casos en los que conviene hacer frente a acciones externas importantes, en los que se debe controlar la ovalización, únicamente importante para grandes diámetros. En estos casos se realizará con material de aportación y compactados controlados y verificados.
- El acondicionamiento de protección, para el resto de diámetros y mayoría de casos de cargas externas, en los que el terreno puede ser el de la propia excavación.

##### Relleno superior

Puede realizarse, generalmente, con el material extraído de la excavación, y su compactación puede ser no controlada en aquellos casos en los que el uso de la superficie y el CCTP lo permita.



# 4 CONDICIONES DE INSTALACIÓN

## 4.1 AGRESIVIDAD DE LOS TERRENOS

*Las tuberías enterradas están expuestas a numerosas solicitaciones, entre las que se encuentran la agresividad del terreno y los rellenos*

*Las canalizaciones PAM poseen, en su versión de base una buena resistencia gracias a sus revestimientos (400gr/m<sup>2</sup> de aleación zinc-aluminio, en proporción 85-15, enriquecida con cobre) adecuados para la mayoría de los suelos.*

*En cualquier caso, la corrosividad de los suelos debe ser evaluada, con el fin de determinar la necesidad, o no, el uso de revestimientos especiales.*

*El Departamento Técnico de PAM puede acometer estos estudios de terrenos y ofrecer la recomendación de uso de revestimientos especiales.*

### Estudio topográfico

#### ● Valores generales de corrosividad

Los valores generales de corrosividad de un suelo pueden ser determinados con la ayuda de una carta geológica detallada de la zona donde se plantea la situación. Será importante, además, atender a los siguientes detalles:

- Relieve del terreno: los puntos altos son, habitualmente, más secos y se encuentran más aireados, por lo que suelen ser puntos menos corrosivos. Por su parte, los puntos bajos, más húmedos y menos aireados, son susceptibles de una mayor corrosividad.
- Presencia de corrientes, cursos de agua, o zonas húmedas cercanas o que sean atravesados
- estanques, pantanos, lagos, turberas y otras tierras bajas, ricas en ácidos húmicos, bacterias y, a menudo, contaminadas.
- Estuarios, pólderes, marismas y tierras salinas situadas junto al mar.

#### ● Índices de contaminación y corrosividad específica

Se deben determinar y delimitar en fase de proyecto, y siempre previa a la determinación de la gama de tubería, la existencia o afección de:

- áreas contaminadas por diversos efluentes como purines, vertidos de destilerías, lecherías, fábricas de papel, etc., o bien, por aguas residuales, de origen doméstico en particular,
- Depósitos de origen industrial como escorias, cenizas de fondo, etc.,
- La proximidad de estructuras como colectores de saneamiento deteriorados o con posible riesgo de fugas
- instalaciones o equipos industriales que utilizan corriente eléctrica continua (obras protegidas catódicamente, líneas ferroviarias electrificadas, estaciones de transformación, etc.).

Una primera representación de la traza sobre cartas geológicas es un buen punto de partida para determinar también, las tipologías de suelos atravesados, proporcionando información sobre la naturaleza de los terrenos y su corrosividad.

## 4.1 AGRESIVIDAD DE LOS TERRENOS

### Estudio geológico

Se puede distinguir, en un primer análisis, los siguientes terrenos:

- Sin riesgo:
  - Arenas y gravas
  - Materiales pétreos
  - Calizas
- De riesgo moderado:
  - Margas
  - Arcillas
- De riesgo considerable:
  - Yeso
  - Piritas (hierro: pirita, calcopirita, cobre)
  - Sales
  - Minería y zonas de extracción para industria química
  - Combustibles fósiles (lignito, turba, carbón)

### Estudio de terreno

El estudio de terreno permite, a través de observaciones visuales, medidas (resistividad) y análisis (extracción de muestras) confirmar y completar los resultados y estudios geológicos previos.

La resistividad de un suelo proporciona información sobre su capacidad para producir procesos de corrosión electroquímica en un metal expuesto a éste. Resultando así que un suelo presentará menores valores de resistividad cuanto más agresivos sean estos. Se trata de un parámetro particularmente significativo debido a que:

- Integra prácticamente todos los factores que influyen en la corrosividad (contenido de sal, presencia de agua, etc.)
- Es muy fácil de medir in situ (método de WENNER o de cuatro picas).

Antes de comenzar la medición es conveniente hacer un estudio detallado de la traza, determinando los distintos puntos de medición que se van a tomar a lo largo de la traza proyectada para la canalización.

La distancia entre estos puntos va a depender de la topografía del terreno y los valores medidos, requiriéndose mayores niveles de precisión cuanto más bajos sean los valores encontrados en las medidas.

El Departamento Técnico de Saint-Gobain PAM España puede realizar estos estudios completos de terreno para determinar las necesidades de uso de los diferentes tipos de revestimientos disponibles.

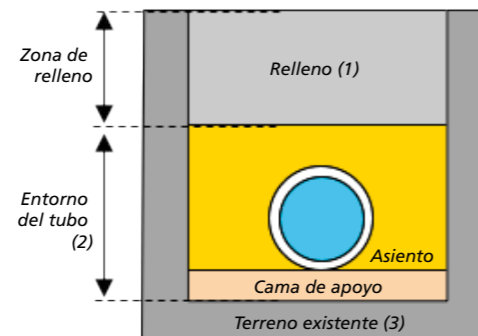
## 4.2 ALTURAS DE COBERTURA

Las alturas de cobertura mínimas y máximas dependen de las características de la tubería seleccionada y sus condiciones de instalación

### Definición

El fascículo 70, recomendación técnica francesa para el cálculo de instalaciones enterradas, distingue:

- La **zona de relleno (1)**
- La **zona de contorno (2)**
  - Desde la cama de apoyo y el relleno del entorno del tubo, hasta 0,10m sobre la generatriz superior de la canalización, en canalizaciones con comportamiento flexible
  - La cama de apoyo
- El **terreno existente (3)**



La **zona de contorno (2)** va a condicionar la estabilidad y/o la necesidad de protección especial de la canalización. Su ejecución debe prever comportamientos tan variables como:

- Las características de la tubería (rígida, semirrígida o flexible)
- Cargas externas (alturas de techo, cargas rodantes)
- El carácter más o menos rocoso o heterogéneo del terreno atravesado.

La **zona de relleno (1)** varía según el sector atravesado (rural, semiurbano o urbano) y debe tener en cuenta la estabilidad de las vías de tráfico rodado, si fuese necesario.

Otras limitaciones que pueden influir también en las condiciones de instalación son:

- El mantenimiento de la tubería libre de heladas (alturas mínimas de cobertura),
- Cruces de zonas con especial requerimiento de seguridad (cruce de ferrocarriles, autopistas, etc.) que están sujetas a disposiciones especial
- La normativa vigente y la normativa local.

### Tablas de altura de cobertura

Las tablas de altura de cobertura presentes a continuación presentan las profundidades máximas y mínimas para los tubos en fundición dúctil de las clases preferentes, según la norma EN 545:2010, es decir, C40, C30 y C25, con y sin presencia de cargas rodantes.

## 4.2 ALTURAS DE COBERTURA

### Cuatro casos de instalación

	Caso n° 1	Caso n° 2	Caso n° 3	Caso n° 4
			DN ≤ 1 400	DN ≤ 600
	DN ≤ 600	DN 60 à 2000		
			DN > 1 400	DN > 600
<b>Cama de apoyo</b>	Nivelado	Nivelado	Cama de materiales seleccionados	Cama de materiales seleccionados
<b>Zona de relleno (2)</b> - Grupo de suelo * - Compactación - Es (MPa) - 2 α (°)	G3 No compactado 0,5 60	G3 Compactado controlado q5 t1 1 90	G2 Compactado controlado q5 t1 1,2 90	G1 Compactado controlado q4 t1 2 90
<b>Elección de materiales</b>	Los materiales de relleno empleados (seleccionados o no) directamente en contacto con la canalización deben estar exentos de elementos rocosos o corrosivos.			

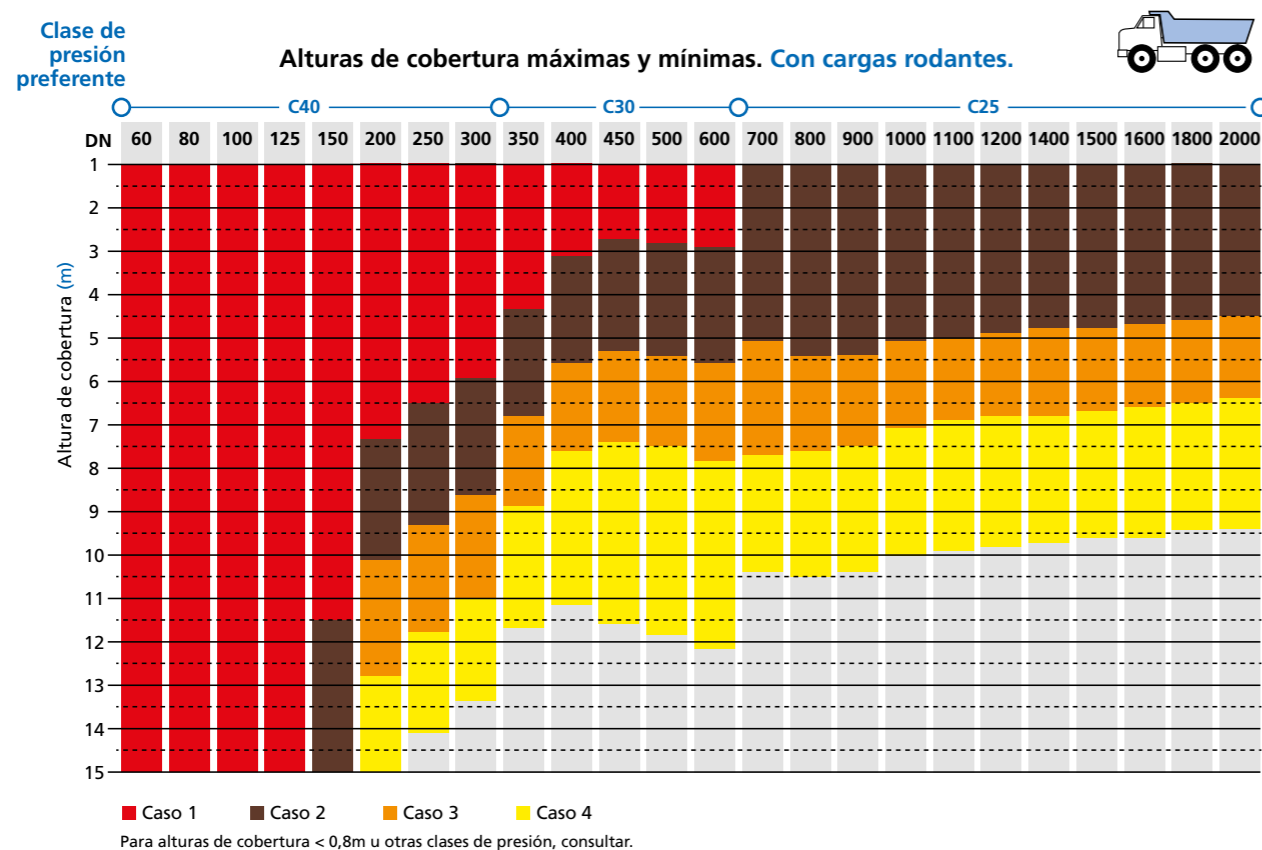
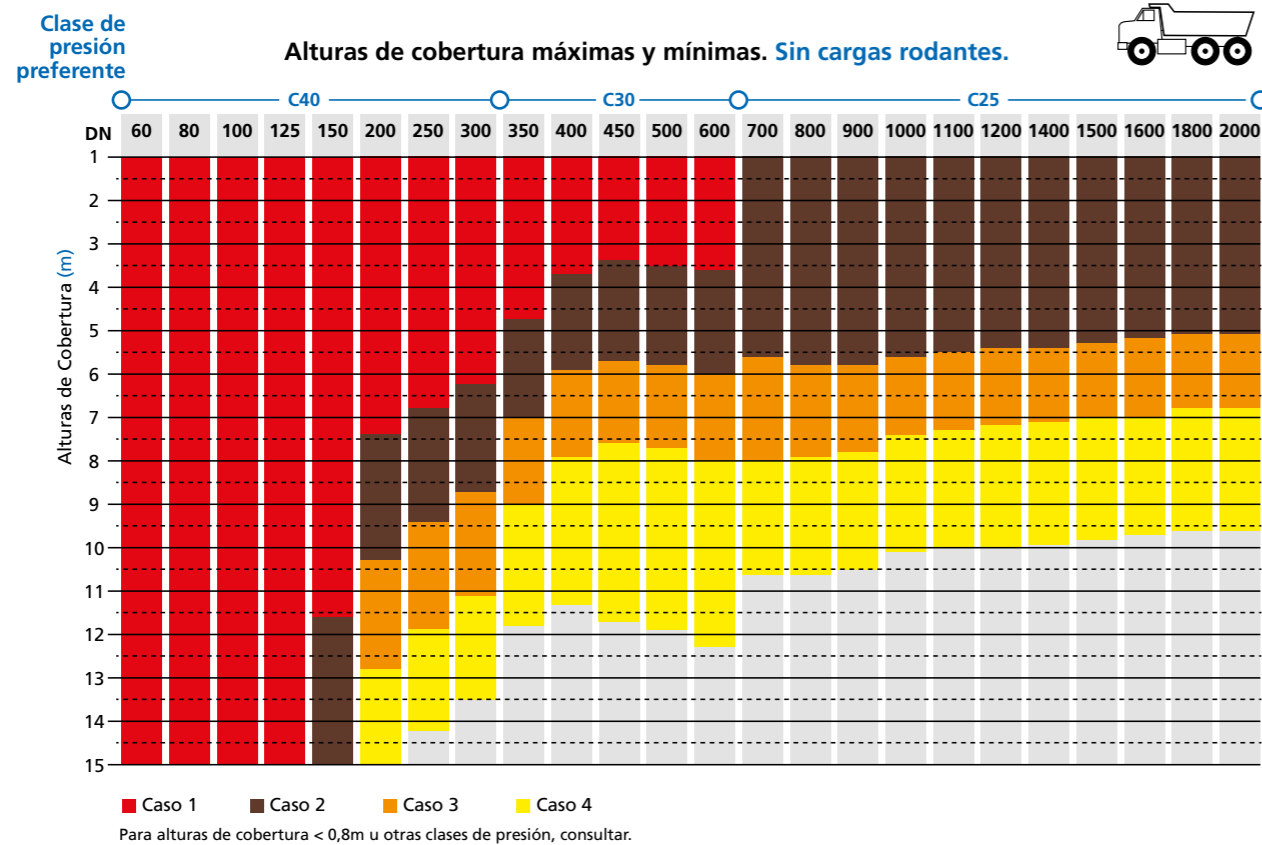
\*Ver tabla 1.

Los casos de instalación definidos no tienen en cuenta la presencia de capa freática o el blindaje de zanja.

**Por otros casos (blindaje, etc.) trasladar al Fascículo 70 o consultar a Saint-Gobain PAM.**

## 4.2 ALTURAS DE COBERTURA

### Alturas de cobertura máximas y mínimas



## 4.2 ALTURAS DE COBERTURA

### Definiciones del Fascículo 70

El modelo de cálculo utilizado se compone de:

- 5 grupos de suelo,
- 3 niveles de grado de compactación, y, si la hay, influencia:
  - De la capa freática en los parámetros del suelo,
  - De las condiciones de retirada del blindaje en función del ancho de zanja,
  - De las cargas rodantes (equivalentes al sistema Bc: cruce de dos camiones de 30 toneladas cada uno en 3 ejes).

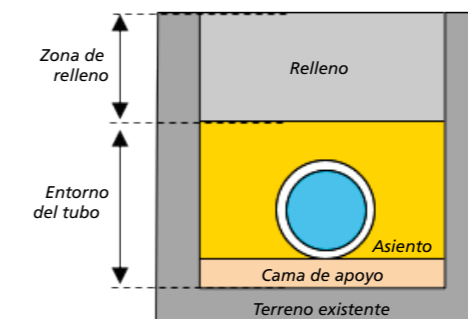
Grupo de suelo	Nivel de puesta en obra		
	$q_5-t_2^{(1)}$	$q_5-t_1^{(1)}$	$q_4-t_1^{(1)}$
	Valor mínimo medio <sup>(3)</sup> 90% de PN <sup>(2)</sup>		Valor mínimo medio <sup>(3)</sup> 90% de PN <sup>(2)</sup>
G1	2	5	10
G2	1,2	3	7
G3	1	2,5	4,5
G4	0,6	1,5	3
G5	-	-	2

(1) Según la norma NF P 98-331:

- $q_4$  al menos el 95% del Proctor Normal por tongada.  
Al menos el 92% del Proctor Normal en la capa de relleno.
- $q_5$  al menos el 90% del Proctor Normal por tongada.  
Al menos el 87% del Proctor Normal en la capa de relleno.

(2) Proctor Normal

(3) Sobre la altura de cobertura.



### Otros métodos de cálculo

Otros métodos de cálculo señalados y muy utilizados son:

- El Anexo F (informativo) de la norma europea con transcripción española UNE EN: 545 - Tuberías, racores y accesorios de fundición dúctil y sus uniones para canalizaciones de agua potable. Prescripciones y métodos de ensayo - Método de cálculo para canalizaciones enterradas, alturas de cobertura.
- La norma americana ANSI/AWWA C 150/A 21.50. Diseño de espesores de tuberías de fundición dúctil.
- La norma ISO 10803 "Método de cálculo de las tuberías de fundición dúctil".
- ATV 127.
- Recomendaciones DIPRA.

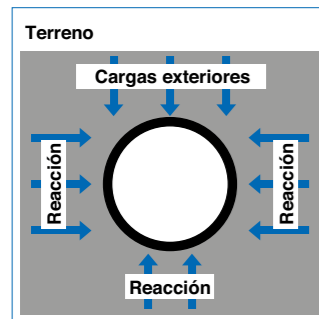


## 4.3 COMPORTAMIENTO ANTE LAS CARGAS

En función de su comportamiento mecánico ante las cargas externas, las canalizaciones pueden dividirse en tres categorías:

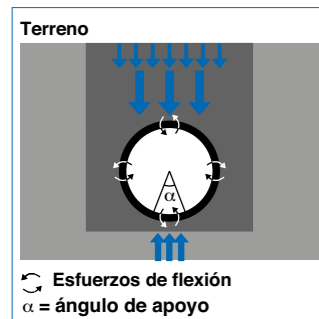
- Tuberías rígidas
- Tuberías flexibles
- Tuberías semi-rígidas

Las canalizaciones en fundición dúctil se engloban dentro de las tuberías semi-rígidas. De este modo presentan una buena relación entre resistencia, cargas y deformación, asegurando además una seguridad óptima de funcionamiento a lo largo del tiempo.



### Sistema suelo-tubo

El comportamiento mecánico de un tubo enterrado no puede comprenderse sin considerar el sistema suelo/tubo. De hecho, la interacción de las conducciones con el entorno del suelo depende de la rigidez o de la flexibilidad de éstas, lo que supone diferentes limitaciones en la instalación.



### Tuberías rígidas

#### ● Ejemplo:

Tuberías de hormigón

#### ● Comportamiento

Las tuberías rígidas sólo admiten una pequeña ovalización antes de la rotura. Esta deformación es insuficiente para poner en juego a las reacciones de apoyo lateral del relleno. Toda la carga vertical del terreno es soportada por el tubo, lo que supone fuertes esfuerzos de flexión en la pared.

#### ● Criterio de dimensionamiento

Generalmente, criterio de compresión máxima.

#### ● Conclusiones:

Las tuberías rígidas favorecen la concentración de cargas en la generatriz inferior y superior. El conjunto del sistema suelo/tubo rígido depende enormemente del ángulo de apoyo, y por tanto, de la buena preparación de la cama de apoyo, en particular si hay cargas rodantes.

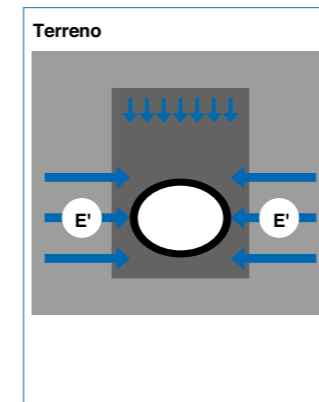
### Tuberías flexibles

#### ● Ejemplo:

Plásticas, acero...

#### ● Comportamiento

Las tuberías flexibles sufren, sin rotura, una deformación importante. Así, la carga vertical de tierras sólo se equilibra con las reacciones de apoyo lateral de la tubería en el relleno circundante.



#### ● Criterio de dimensionamiento

Ovalización máxima admisible o esfuerzo de flexión máximo admisible, además de resistencia al pandeo.

#### ● Conclusiones:

La estabilidad del sistema suelo/tubo flexible es directamente dependiente de la capacidad del relleno a generar una reacción pasiva del apoyo, y por tanto de su módulo de reacción (E) y consecuentemente de la calidad del relleno y su compactación.

### Tuberías semi-rígidas

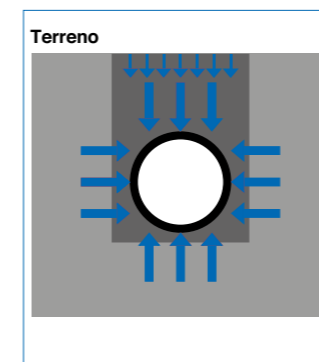
#### ● Ejemplo:

Fundición dúctil.

#### ● Comportamiento



Las tuberías semi-rígidas poseen una resistencia a la ovalización que permite que parte de la carga vertical de tierras pueda absorberse lateralmente por el relleno. De esta manera, los esfuerzos involucrados son las reacciones pasivas del apoyo del terreno y los esfuerzos de flexión interna de la pared de la tubería. La resistencia a la carga vertical, por tanto, queda repartida entre la resistencia propia de la tubería y el entorno del relleno, siendo cada uno de estos elementos función de la relación de rigidez dada entre la tubería y el suelo.



#### ● Criterio de dimensionamiento

Esfuerzo de flexión máxima admisible (especialmente para pequeños diámetros) y ovalización máxima admisible (especialmente para el caso de grandes diámetros).

#### ● Conclusiones:

Al distribuir las fuerzas entre tubería y relleno, el sistema suelo/tubo semi-rígido ofrece una seguridad en caso de que se produzcan cambios a lo largo del tiempo tanto de las sollicitaciones mecánicas o de las condiciones de apoyo.

# 5 NORMATIVA Y CALIDAD

## 5.1 NORMAS DE PRODUCTO Y ANEXOS

Las canalizaciones de fundición dúctil **PAM** son conformes a las normas europeas EN y transcripción española UNE, así como a las normas ISO internacionales.

Los sistemas de canalización **PAM** son conformes con las normas en vigor:

- Españolas, que se transponen sistemáticamente de las normas europeas (EN)
- Internacionales (ISO o EN ISO)

La conformidad a la normativa europea, o internacional, evidencia el grado de exigencia que se aplica a los sistemas de canalización de fundición dúctil.

Especificaciones	Normas	
	Normas Europeas EN	Normas Internacionales ISO
Especificaciones técnicas de las canalizaciones en función dúctil	EN 545	ISO 2531
Tuberías con enchufe	EN 545	ISO 2531
Accesorios con enchufe	EN 545	ISO 2531
Tuberías a bridas	EN 545	ISO 2531
Accesorios a bridas	EN 545	ISO 2531
Tuberías, racores y accesorios en fundición dúctil y sus uniones compatibles con las canalizaciones plásticas (PVC o PE) para la distribución de agua y para las conexiones, reparaciones y sustitución de canalizaciones plásticas.		ISO 16631:2016
Ensayos tipo de unión	EN 545	ISO 2531
Ensayos tipo de uniones acerrojadas	EN 545	ISO 2531 ISO 10 804-1
Revestimiento interior de mortero de cemento	EN 545	ISO 4179
Revestimiento exterior de cinc o cinc-aluminio de las tuberías	EN 545	ISO 8179
Revestimiento exterior PEAD	EN 14 628	-
Revestimiento exterior de poliuretano	EN 15 189	-
Revestimiento interior de poliuretano	EN 15 655	-
Revestimiento epoxi reforzado de accesorios	EN 14 901	-
Canalizaciones pre-aisladas	-	ISO 9394
Manga de polietileno	EN 545	ISO 8180
Métodos de cálculo de las canalizaciones	EN 545	ISO 10 803
Recepción en obra	EN 805	ISO 10 802
Suministro de agua Requisitos para redes exterior de edificios	EN 805	-
Anillos de junta. Especificaciones de los materiales	EN 681.1	ISO 4633
Dimensiones de las bridas	EN 1092 - 2	ISO 7005 - 2
Accesorios para canalizaciones en PVC o PEAD	EN 12 842	-
Sistemas de control de calidad - exigencias	EN ISO 9001	EN ISO 9001
Sistemas de control medioambiental - exigencias	EN ISO 14001	EN ISO 14001

## 5.2 MATERIALES EN CONTACTO CON EL AGUA DESTINADA AL CONSUMO HUMANO

Los materiales en contacto con el agua destinada deben, como norma básica, no deteriorar la calidad del agua.

### Situación y normativa

Las características del agua destinada al consumo humano están definidas por directiva europea. Ver el capítulo AGUA DESTINADA AL CONSUMO HUMANO página 6.

Sin embargo, no existe ninguna directiva o norma europea que establezca los requisitos técnicos aplicables a los materiales en contacto con agua destinada al consumo humano utilizada en instalaciones de producción y tratamiento y distribución, y que estaría destinada a verificar su compatibilidad con las características de estas aguas.

Pese a la no existencia de reglamentación o legislación española al respecto, si existe publicada reglamentación francesa: Orden de 29 de mayo de 1997 modificada por Orden de fecha de 24 de junio de 1998, mediante Orden de 13 de enero de 2000 y mediante Orden de 22 de agosto de 2002.

Esta reglamentación, en su sección 2 (Materiales constitutivos de tuberías y accesorios, tanques y accesorios) autoriza a los materiales cuya composición cumpla los requisitos definidos en los anexos (naturaleza y contenido límites de los componentes) y proporciona, cuando sea necesario, pruebas preliminares para evaluar sus posibles efectos sobre la calidad organoléptica, física, química y biológica del agua puesta en contacto con ellos.

### Situación y normativa

Los materiales afectados por estos requisitos reglamentarios se dan en la siguiente tabla:

Materiales	Aplicación
Mortero de cemento	Revestimiento interior de tuberías
Pintura sintética negra	Revestimiento interno de las zonas de unión de tuberías y ciertos racores
Pintura epoxi azul	Revestimiento interno de ciertos racores
Barniz epoxi de poliuretano aplicado por cataforesis	Revestimiento interno de ciertos racores
Polvo epoxi	Revestimiento interior especial de ciertos racores
Elastómeros	Anillos de junta para tuberías y racores
Pasta lubricante	Montaje de juntas
Pintura Aquacoat	Revestimiento interior de tuberías NATURAL®
Ductan	Revestimiento interior de tubería BLUTOP®

### Conformidad

Todos los materiales enumerados anteriormente y utilizados por PAM para su fabricación se benefician de un certificado de cumplimiento sanitario (A.C.S.) establecido por una de las organizaciones aprobadas por la Gerencia General de Salud en el marco del Decreto de 29 de mayo de 1997, que certifica el cumplimiento de las disposiciones aplicables de este decreto. Son totalmente utilizables para la distribución de agua destinada al consumo humano.

El examen de estos certificados y los informes correspondientes, así como la documentación técnica de productos afectados (tuberías y accesorios para redes de suministro de agua destinadas al consumo humano DN 60 a 2000), se ha confiado a un tercer agente externo.

# 6 DESARROLLO SOSTENIBLE

## 6.1 INSTALACIÓN

*Resistentes, sólidas y flexibles, las canalizaciones en fundición dúctil PAM permiten la reutilización del terreno natural para usar como relleno de zanja.*

### ¡Una instalación simple, económica y ecológica!

La preparación e instalación de las canalizaciones requiere de la excavación de un gran volumen de tierra, que representa del 5% al 10% de impacto económico sobre el coste total de la instalación. Este volumen supone además un fuerte impacto ambiental para la ejecución de la instalación ya que, en muchos casos, estos volúmenes de tierra se depositan en vertederos y son reemplazados por materiales de aporte o préstamo.

La rigidez, solidez y resistencia, así como la naturaleza activa de los revestimientos de las canalizaciones en fundición dúctil, permiten reutilizar el suelo existente en la mayoría de los casos (previa retirada de materiales gruesos) como recubrimiento o incluso como cama de apoyo.

#### ● **Ventaja económica ECOMONTAJE PAM**

La utilización del suelo existente como relleno evita la explotación directa de canteras de arena y los impactos derivados del transporte mediante camiones que suelen usarse en estos procesos.

#### ● **Ventaja ecológica ECOMONTAJE PAM**

Además de la emisión de gases de CO<sub>2</sub>, la técnica ecomontaje permite evitar problemas y preservar los recursos de los terrenos naturales.

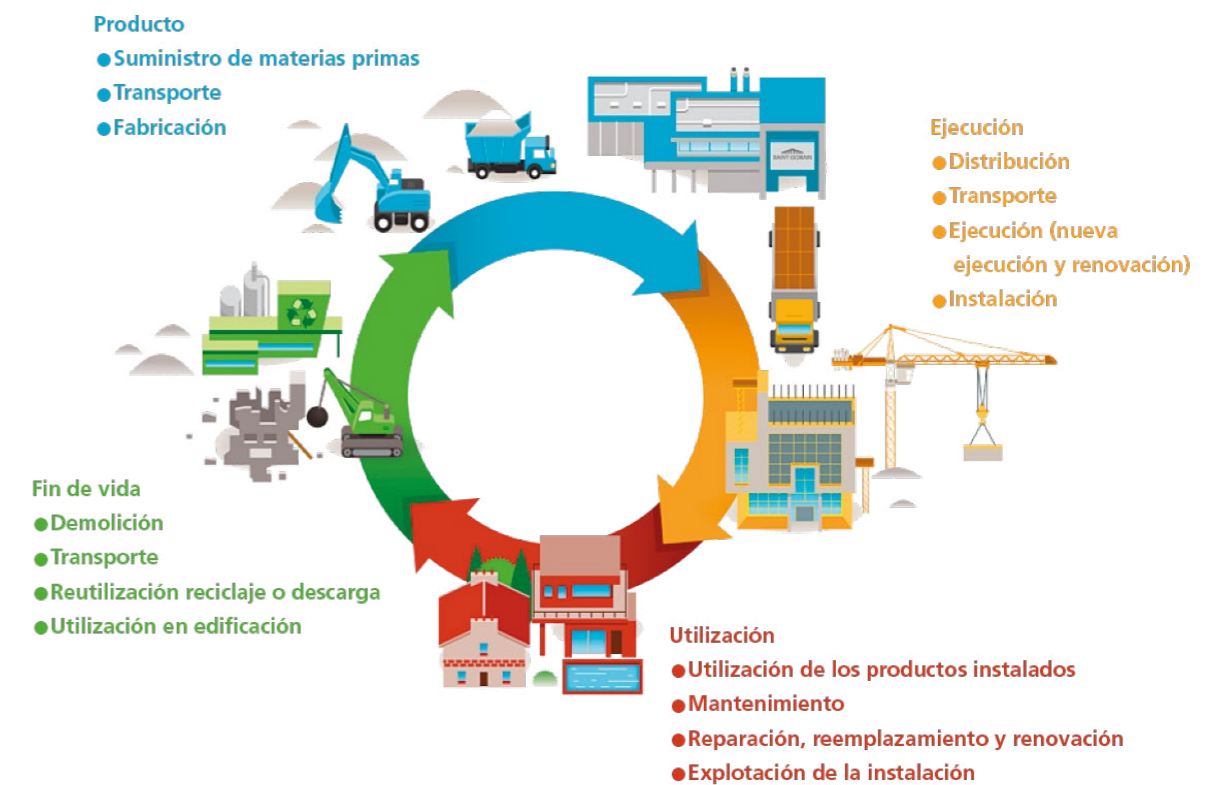
## 6.2 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

El 100% de materiales de fundición dúctil es reciclable indefinidamente sin perder prestaciones.

Teniendo en cuenta todas las operaciones, desde la fabricación hasta la instalación, así como durante toda la vida útil de las canalizaciones, es fundamental tener en cuenta el enfoque del desarrollo sostenible.

PAM ha realizado para sus productos un análisis del ciclo de vida a partir de las normas ISO14040 y ISO14044. Esto nos permite evaluar el impacto medioambiental de nuestros productos en el ciclo integral del agua e identificar las soluciones óptimas que lo minimicen.

El análisis del ciclo de vida permite proporcionar a nuestros clientes las declaraciones medioambientales conformes a las normas EN15804 o ISO 21930, para la validez de la evaluación del proyecto.



**PAM**  
SAINT-GOBAIN



Los impactos medioambientales de este producto son evaluados a lo largo de su ciclo de vida. Su certificado de Declaración medioambiental y sanitaria ha sido verificado por un tercero independiente.

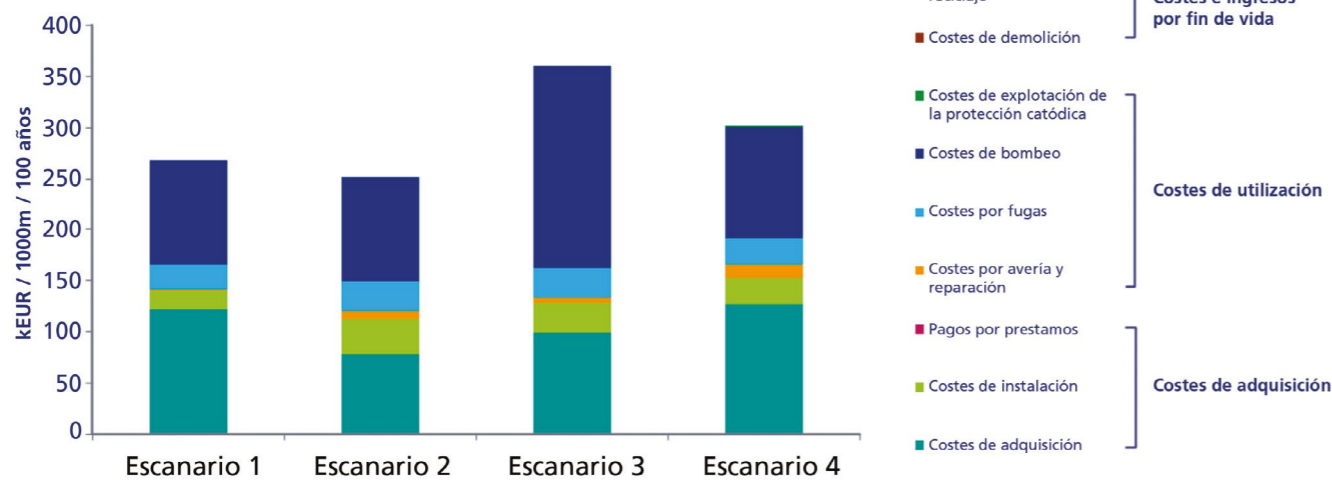
### 6.3 COSTE TOTAL

Para el desarrollo sostenible, y la determinación de la mejor solución desde un punto de vista económico y ecológico, **PAM** ha desarrollado y verificado un programa para cuantificar el ciclo de vida de una canalización.

Por tanto, desde el inicio de los proyectos, **PAM** asesora a las partes interesadas sobre las soluciones más adecuadas para mejorar el rendimiento de las redes a configurar, para facilitar su instalación, optimizando al mismo tiempo costos a lo largo del ciclo de vida.



#### Coste Global



### 6.3 COSTE TOTAL

Hoy en día, invertir en una canalización de calidad es indispensable para el futuro.

Los costes de bombeo y pérdida de agua durante la vida útil de una red son considerablemente más altos que el coste de compra inicial.

El software PAM TCO está diseñado para evaluar el coste de inversión total. Destaca los costes inmediatos de los costes diferidos del inversor y del operador. El método del cálculo tiene en cuenta:

- Los costes de adquisición (tubería, instalación, préstamo...)
- Los costes de explotación (mantenimiento y explotación, costes de impulsión, fugas)
- Los costes de fin de vida (desmontaje, reciclaje)

#### CONCLUSIONES DEL TCO



#### Tubería NATURAL DN200 con vida útil 100 años





## 6.3 COSTE TOTAL

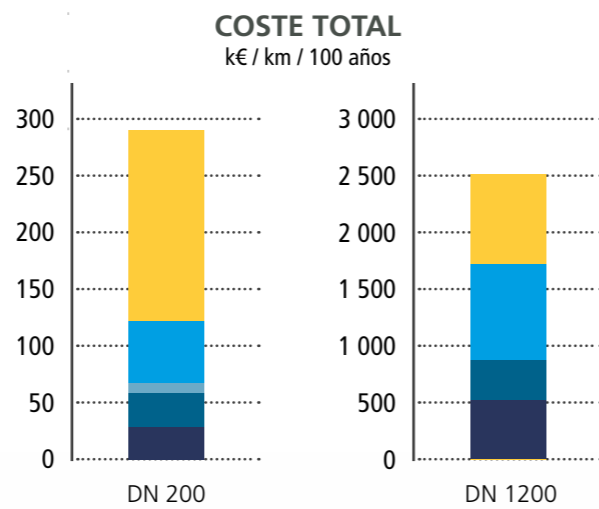
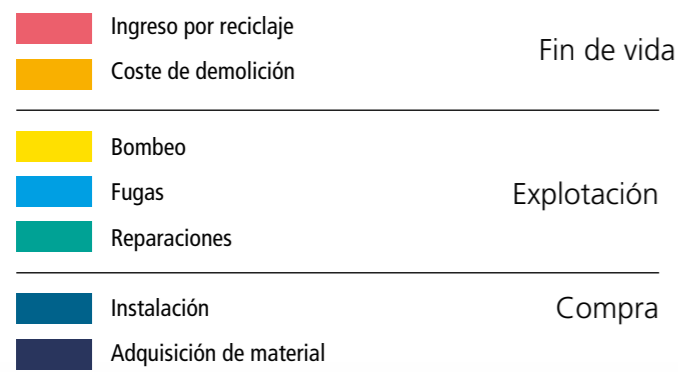
### EJEMPLOS DE EVALUACIÓN TCO-LCA

Hipótesis de cálculo realizadas con LCA-TCO PAM:

- Para tuberías NATURAL DN200 a 1200
- Instalaciones en zanja en condiciones standard
- Transportes mayores a 600 km
- Datos técnico-económicos en Europa en 2014
- Vida útil de 100 años

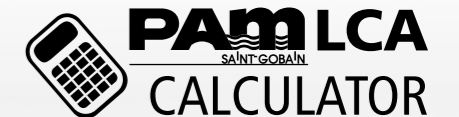
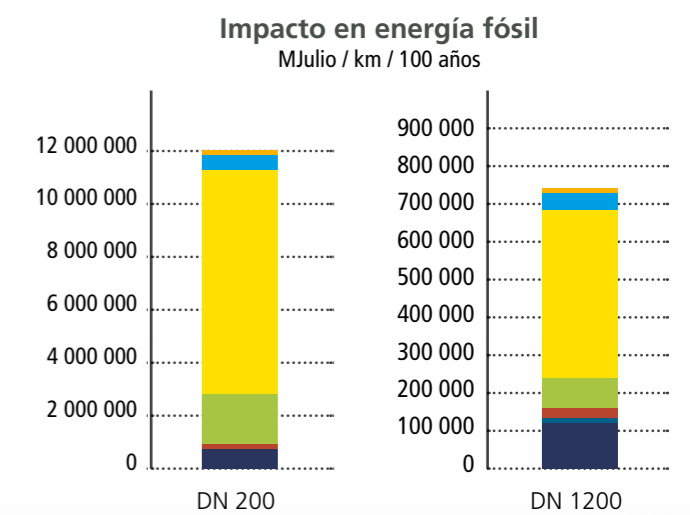
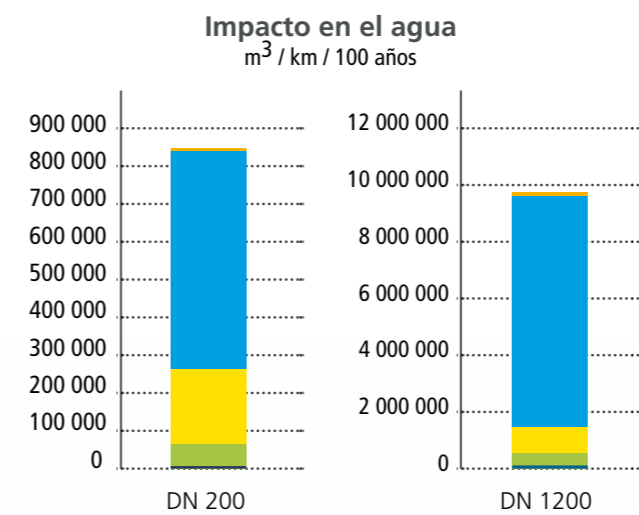
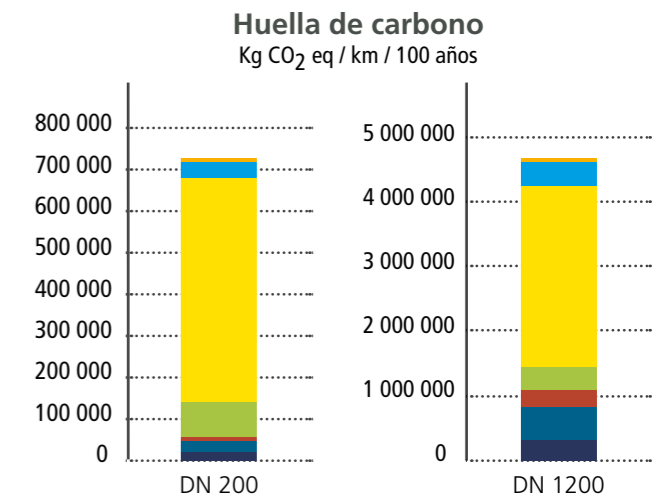
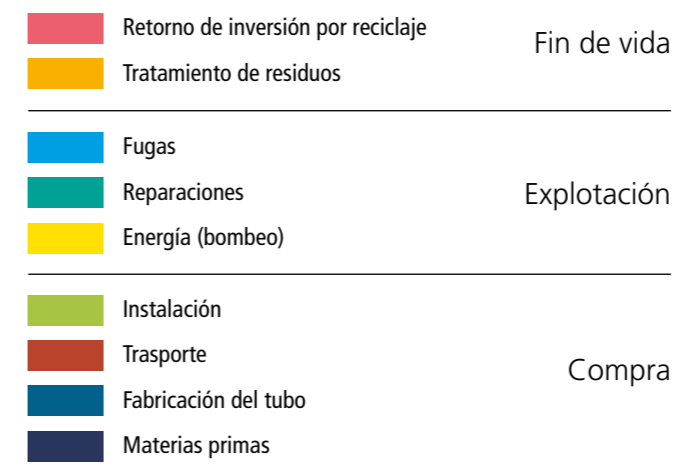
Los valores que se presentan a continuación, basados en casos hipotéticos y datos promedio, se proporcionan como orientación. No tienen carácter contractual.

#### ANÁLISIS TCO (COSTE TOTAL DE ADQUISICIÓN)



## 6.3 COSTE TOTAL

### ANÁLISIS LCA (CICLO DE VIDA)









## FE DE ERRATAS

A continuación se adjunta una lista de erratas del documento.

### pag. 16

- En la línea 9 en lugar de valor 0,0018 mm es 0,018mm.
- En la línea 21 en lugar de «*cinéamética*» la palabra correcta es cinemática.

### pag. 19

- En la línea 6 en lugar de valor k=0,003 mm es k=0,03mm.
- En la línea 14 en lugar de valor k=0,001 mm es k=0,01mm.

### pag. 38

- En la tabla en valor del coeficiente k del codo 1/32 es k=0,196.

### pag. 43

- En el último párrafo en la primera línea, en lugar de «*cuanta*» la palabra correcta es cuenta.

### pag. 44

- En el apartado de «Principio de diseño y funcionamiento al final, pone «Ver acerrojado pagina 38» y lo correcto es dirigirse a la página 39.

### pag. 49

- En la línea 16, en lugar de «*rápidad*» la palabra correcta es rápida.

### pag. 49

- En la línea 16, en lugar de «*rápidad*» la palabra correcta es rápida.
- En el último apartado de «Evaluación completa» en la primera línea, en lugar de «*glpe*» la palabra correcta es golpe.

### pag. 52

- La formula correcta del radio de curvatura es:

$$\bullet \text{ Radio de curvatura: } R = \frac{L}{2 \sin \frac{\Delta\theta}{2}}$$

### pag. 58

- En el último párrafo en la primera línea, en lugar de «*zanaja*» la palabra correcta es zanja.

### pag. 60

- En el apartado de «Valores generales de corrosividad» en la primera línea, en lugar de «*suele*» la palabra correcta es suelo.



SAINT-GOBAIN PAM ESPAÑA

Príncipe de Vergara, Nº 132  
28002 Madrid  
Servicio de Atención al Cliente  
902 114 116  
sgpamsac.es@saint-gobain.com  
[www.pamline.es](http://www.pamline.es)