

MANUAL TÉCNICO DE DISEÑO DE REDES Y UTILIZACIÓN

Tubería de PVC Orientado TOM®



www.molecor.com
e-mail: canalizaciones@molecor.com
tel.: +34 902 106 174

© Molecor Junio 2014



ÍNDICE • • •

• • • 1. Tubería de PVC Orientado TOM®	4
1.1 Introducción	6
1.2. La Orientación Molecular	6
1.3. Tecnología de Fabricación	7
1.4. Ventajas de la tubería de PVC-O TOM®	8
1.4.1 Características mecánicas	9
1.4.2 Resistencia química	12
1.4.3 Características hidráulicas	12
1.4.4 Facilidad de instalación	15
1.4.5 Eficiencia en recursos	16
1.5. Aplicaciones	17
1.5.1 Redes de abastecimiento y distribución de agua potable	17
1.5.2 Redes de reutilización	18
1.5.3 Redes de riego	19
1.5.4 Redes de saneamiento a presión	19
1.5.5 Otras aplicaciones	19
• • • 2. Diseño de la red	20
2.1 Cálculos hidráulicos	22
2.1.1 Necesidades hidráulicas	22
2.1.2 Selección de diámetros	22
2.1.2.1 Consideraciones iniciales y definiciones	22
2.1.2.2 Velocidades aconsejadas	23
2.1.2.3 Red de transporte para un único consumo	24
2.1.2.3.1 Consideraciones generales	24
2.1.2.3.2 Conducción por gravedad. Casos prácticos	25
2.1.2.3.3 Conducción por bombeo. Caso práctico	34
2.1.2.4 Red de transporte para varios consumos	38
2.1.2.4.1 Criterios de dimensionamiento y clasificación	38
2.1.2.4.2 Red ramificada. Caso práctico	38
2.1.2.4.3 Red mallada. Casos prácticos	49
2.1.3. Selección de la Presión Nominal	56
2.1.3.1 Definiciones: DP, MDP, STP, OP, SP	56
2.1.3.2 Perfil de la red	58
2.1.3.3 Efecto del aire en las redes	59
2.1.3.4. Pérdidas de carga en la tubería y accesorios	61
2.1.3.5 Golpe de ariete. Caso práctico	62
2.1.3.6 Tabla de presiones operativas	69
2.1.4 Influencia de la temperatura y otros coeficientes de diseño	70
2.1.4.1 Presiones de trabajo según la temperatura	70
2.1.4.2 Influencia de los distintos coeficientes de seguridad	71
2.2 Cálculos mecánicos	72
2.2.1 Clasificación de los distintos tipos de tuberías	72
2.2.2 Fuerzas de empuje	73
2.2.2.1 Anclajes de hormigón. Caso práctico	73
2.2.3 Instalaciones enterradas	86
2.2.3.1 Dimensionamiento de zanjas	86

2.2.3.1.1 Excavación	86
2.2.3.1.2 Características de apoyo y relación de proyección	87
2.2.3.1.3 Relleno de la zanja	88
2.2.3.2 Tensiones y esfuerzos	89
2.2.3.2.1 Acciones gravitatorias	89
2.2.3.2.2 Acciones del terreno y el relleno	89
2.2.3.2.3 Acciones por sobrecargas	92
2.2.3.2.4 Acciones debidas al nivel freático	92
2.2.3.2.5 Casos prácticos	92
2.2.4 Instalaciones aéreas	105
2.3 Trazado y perfil planta	108
2.3.1 Cambio de dirección y bifurcaciones	108
2.3.2 Desviaciones angulares y curvatura del tubo	108
2.3.3 Caso práctico	111
• • • 3. Recomendaciones de utilización	112
3.1 Transporte, almacenamiento y manipulación	114
3.2 Instalación	115
3.3 Pruebas en obra y puesta en servicio	117
• • • 4. Gama y características de la tubería PVC Orientado TOM®	118
4.1 Gama de productos	120
4.2 Materias primas	121
4.3 Propiedades mecánicas	123
4.4 Propiedades químicas	123
4.5 Otras propiedades	126
4.6 Accesorios	126
4.7 Calidad y Certificaciones	129
• • • 5. Aptitud de uso	132
5.1 Agua potable	134
5.2 Agua residual	135
5.3 Agua regenerada	135
5.4 Salmuera	135
• • • 6. Sostenibilidad	136
6.1 Ciclo de vida del PVC-O	138
6.2 Contribución al efecto invernadero	141
6.3 Más contribuciones a la sostenibilidad	143
• • • 7. Anexos	145
7.1 Tablas de pérdidas de carga continuas	146
7.2 Coeficientes de pérdidas de carga localizada (kl)	154
7.3 Coeficientes de Prandtl-Colebrook-White, Hazen-Williams , y Manning.	162
7.4 Resistencia química	163
7.5 Coeficiente dilatación térmica	167
• • • 8. Anexos de cálculos mecánicos	169
• • • 9. Normativa y Referencias bibliográficas	187

Tubería de PVC-O TOM®

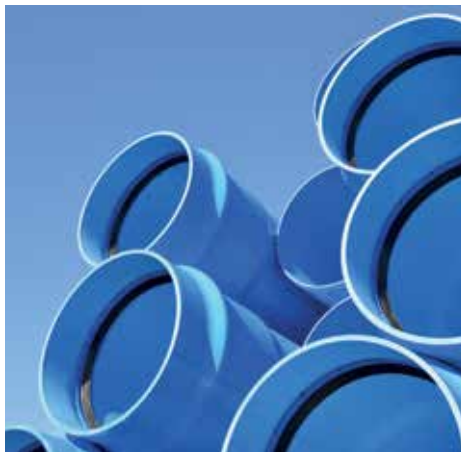




1.1. Introducción

La tubería de PVC orientado es la solución más eficiente para el transporte de agua a presión en todo tipo de aplicaciones (transporte y distribución de agua potable, riego, reutilización, saneamiento, redes industriales y contraincendios, etc.) dentro de su rango de diámetros (90 a 800 mm) y para presiones nominales desde 12,5 hasta 25 bares.

La orientación molecular en polímeros es un proceso mecánico, conocido desde hace décadas, que se ha estado utilizando en distintas aplicaciones (fibras, planchas, envases, etc.) siempre con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas del material de partida. En particular, en tuberías de PVC para presión, se empezó a utilizar en Inglaterra a finales de los 70 y desde entonces se ha ido introduciendo en distintos mercados (Australia, Francia, Sudáfrica, Italia, Colombia, Ecuador, Brasil, Portugal, Canadá, EEUU, etc.).



En España se empieza a introducir la tubería de PVC orientado a principios de los años 90. Existen redes de presión con tubería de PVC orientado en Inglaterra desde hace 35 años y en España desde hace más de 12 años, manifestándose en las redes actualmente en operación, la ausencia de costes de mantenimiento en las mismas y una elevada perspectiva de vida útil.

Las extraordinarias propiedades mecánicas de la tubería de PVC orientado, especialmente indicadas para la conducción de agua a presión, han asombrado en todos los mercados donde es introducida, pero hasta la aparición de Molecor, el escaso desarrollo de los procesos de producción y las reducidas productividades hacían que el producto fuese utilizado en un reducido mercado de altas prestaciones.

Molecor se constituye en el año 2006 y desarrolla un sistema de fabricación de PVC Orientado absolutamente innovador que aporta enormes mejoras en productividad, eficiencia, seguridad, control de proceso y de producto respecto a los sistemas de fabricación anteriores, permitiendo la expansión y popularización del producto en todo tipo de aplicaciones y mercados.

Además de su fábrica en los alrededores de Madrid, Molecor dispone a día de hoy de licenciarios en Australia, Italia, Ecuador, Colombia y en la India, y sus productos se comercializan en muchos países de Europa, Africa, Latinoamérica, Asia y Oceanía.

1.2. La orientación molecular

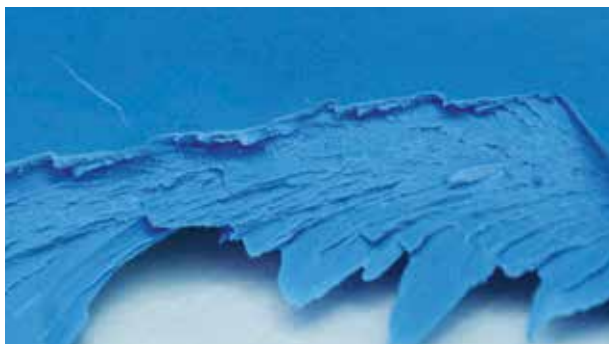
La orientación molecular es un proceso físico que modifica la estructura molecular del PVC sin alterar sus propiedades químicas.

El PVC es esencialmente un polímero amorfo, en el que las moléculas se encuentran dispuestas en direcciones aleatorias. Sin embargo, bajo unas determinadas condiciones de presión, temperatura y velocidad, y

mediante un estiramiento del material, es posible ordenar las moléculas del polímero en la misma dirección en la que se ha producido dicho estiramiento.

En función de los parámetros del proceso y sobre todo del ratio de estiramiento, se obtiene un mayor o menor grado de orientación. El resultado es un plástico con una estructura laminar, cuyas capas se aprecian a simple vista.

El proceso de orientación molecular, el cual se realiza a temperaturas por encima de la temperatura de transición vítrea, mejora de forma espectacular las propiedades físicas y mecánicas del PVC y le otorga unas características excepcionales, sin alterar las ventajas y propiedades químicas del polímero original. Se consigue así un plástico con unas insuperables cualidades de resistencia a tracción, fatiga, flexibilidad y resistencia al impacto.



Aplicado a conducciones a presión se logra una tubería con gran resistencia frente a golpes y con una elevadísima vida útil. A ello se añade una considerable eficiencia energética y medioambiental tanto en la fabricación como en la utilización posterior del producto, así como una reducción en el coste debido a una óptima eficiencia de su puesta en obra e instalación.

Por todo ello, la tubería de PVC orientado TOM® es la mejor solución para conducciones de agua a media y alta presión destinadas a riego, abastecimiento de agua potable, industria, redes contra incendios e impulsiones, entre otros usos.

1.3 Tecnología de fabricación

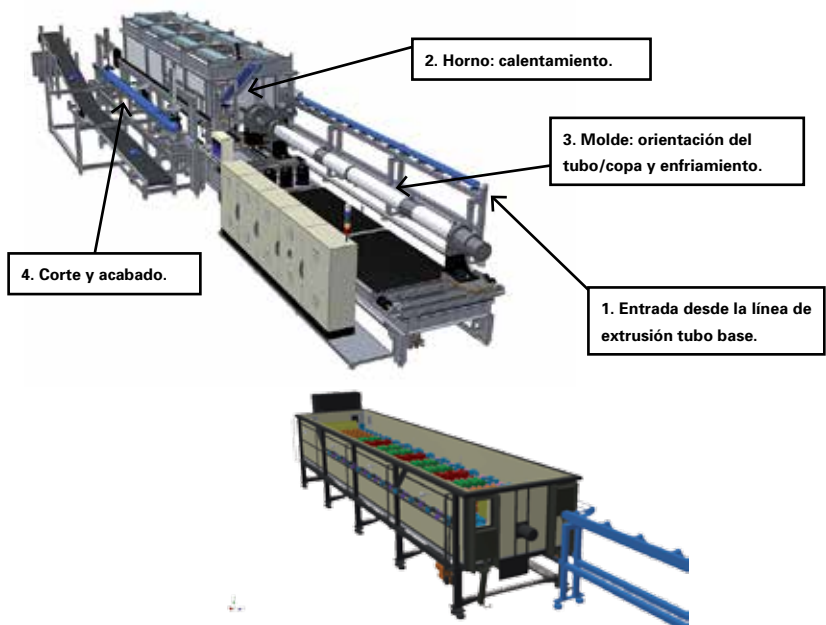
La tecnología desarrollada por Molecor supera las restricciones existentes con anterioridad (productividad, eficiencia energética, fiabilidad, gama) y confiere a la tubería TOM® significativas mejoras.

- La orientación molecular se consigue mediante la aplicación de una distribución precisa y homogénea de temperatura y altas presiones, que imponen un control de calidad tubo a tubo sobre el 100% de la producción.
- El proceso de fabricación de la tubería TOM® se realiza de forma continua y absolutamente automática, en lugar del tradicional sistema discontinuo, lo que proporciona un mayor control y regularidad al producto.

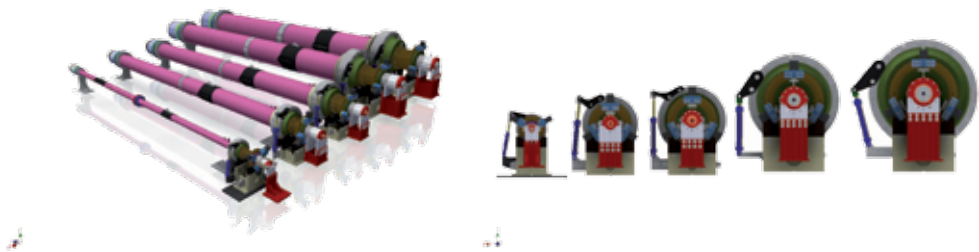
La tecnología de Molecor se basa en un sistema completamente seco que proporciona una alta eficiencia energética, alta productividad y gran estabilidad en el proceso.

Todo esto, además de una amplia gama de producto, lleva a obtener una gran regularidad dimensional y a la conformación del enchufe durante el mismo proceso de orientación molecular, lo que garantiza las mismas propiedades en el sistema tubo-enchufe.

Distintos elementos que intervienen en el proceso de orientación molecular:



Horno para calentamiento previo a la orientación molecular.



1.4 Ventajas de la tubería de PVC-O TOM®

VENTAJAS DEL PRODUCTO	
Características mecánicas • Resistencia a impacto • Flexibilidad	• Presión interna • Depresión o vacío
Inerte químicamente • Resistencia a la corrosión • No favorece la biocorrosión	• Garantiza la calidad del agua • No le afectan factores de electro-corrosión
Características hidráulicas • Golpe de ariete • Capacidad hidráulica	• Estanqueidad en conexiones • Optimización energética
Facilidad de instalación • Ligereza y manejabilidad	• Facilidad de conexión y explotación
Eficiencia en recursos • Materias primas • Energía y en emisión de CO₂	• Gestión de residuos • Reciclaje del 100%

1.4.1 Características mecánicas

Resistencia al impacto.

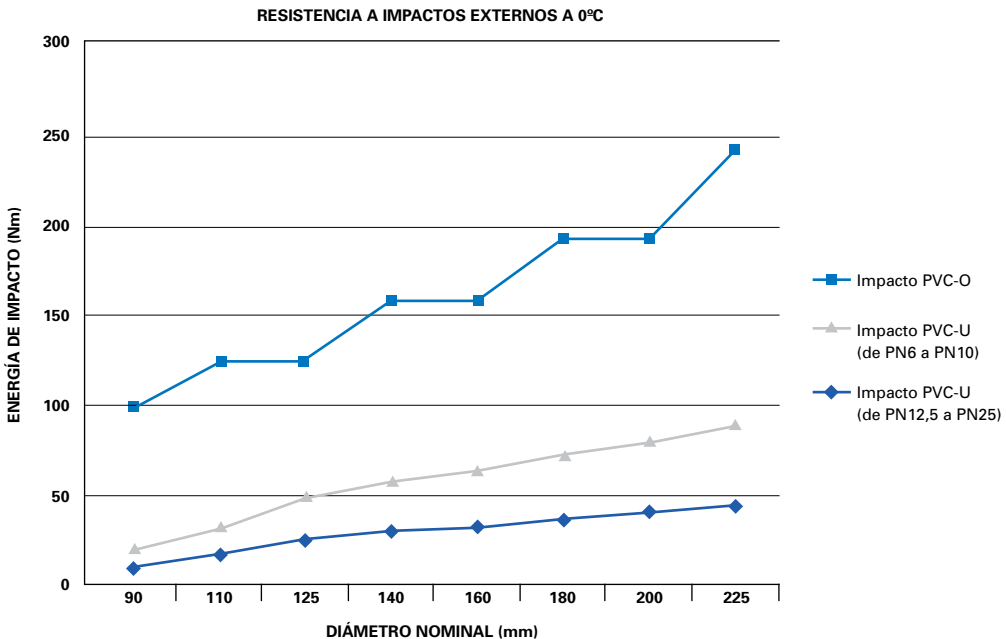
La tubería TOM® es muy resistente a los golpes. Se minimizan así las roturas durante la instalación por causas accidentales.

Además la orientación molecular impide la propagación de grietas y arañazos, y minimiza el riesgo de fisuras rápidas gracias a la estructura laminar del tubo. El resultado es un espectacular aumento de la vida útil del producto.

Los tubos se deben ensayar a 0 °C de acuerdo con la Norma ISO 3127 y deben tener un porcentaje real de roturas (TIR) no superior al 10%.



Si se representa la resistencia al impacto del PVC-U, norma (EN 1452-2), y del PVC-O (norma ISO 16422), puede observarse, que la resistencia al impacto del PVC-O para los distintos diámetros nominales, está por encima de las tuberías en PVC-U.



Nota: La energía de impacto para tuberías de diámetros superiores a DN225 en el caso de PVC-O será la misma en el resto de gama. La masa del percutor y la altura de la caída es constante.

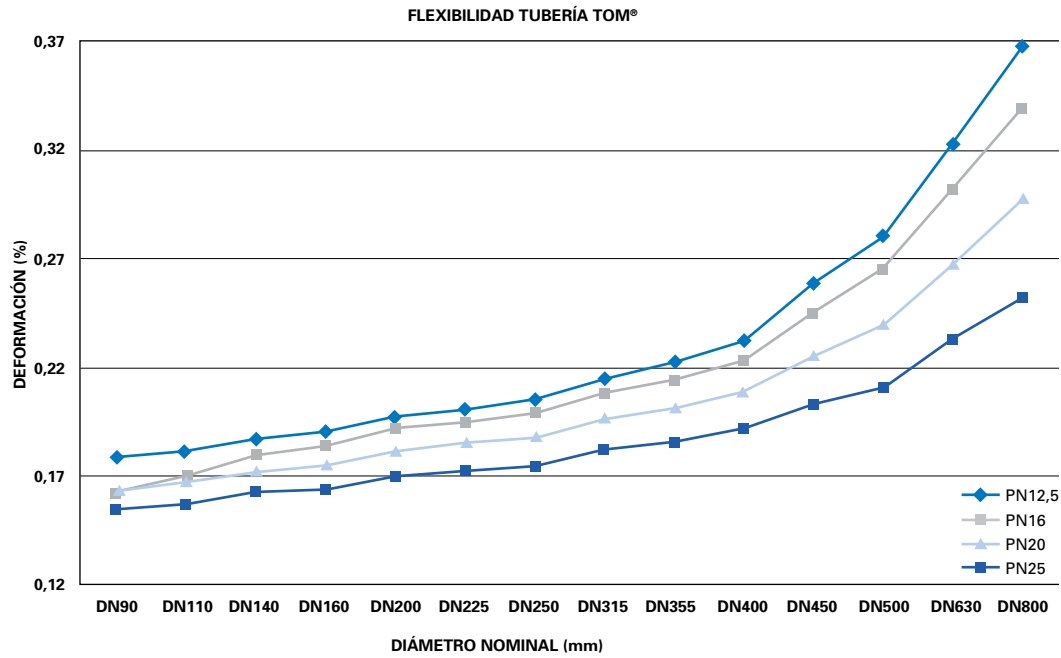
Flexibilidad.

Como introducción, se puede decir, que la flexibilidad es la capacidad que tiene un material o estructura para deformarse y volver a su posición inicial un número de ciclos elevado, sin ver prácticamente alterada su estructura ni sus propiedades.

El excelente comportamiento elástico de la tubería TOM® le permite soportar deformaciones de hasta el 100% del diámetro interior. La canalización recupera inmediatamente su forma original tras un aplastamiento y cualquier situación mecánica accidental, con lo que se minimiza el riesgo de roturas por deslizamiento del terreno u otros esfuerzos cortantes como piedras o maquinaria.



Su gran capacidad para aguantar pesos elevados asegura además, el perfecto comportamiento de los tubos una vez soterrados. A continuación, se muestran los valores de deformación, en %, de las tuberías TOM®, según los criterios de la norma UNE 53331 IN, la cual indica, que el valor admisible a largo plazo debe de ser inferior o igual al 5%.

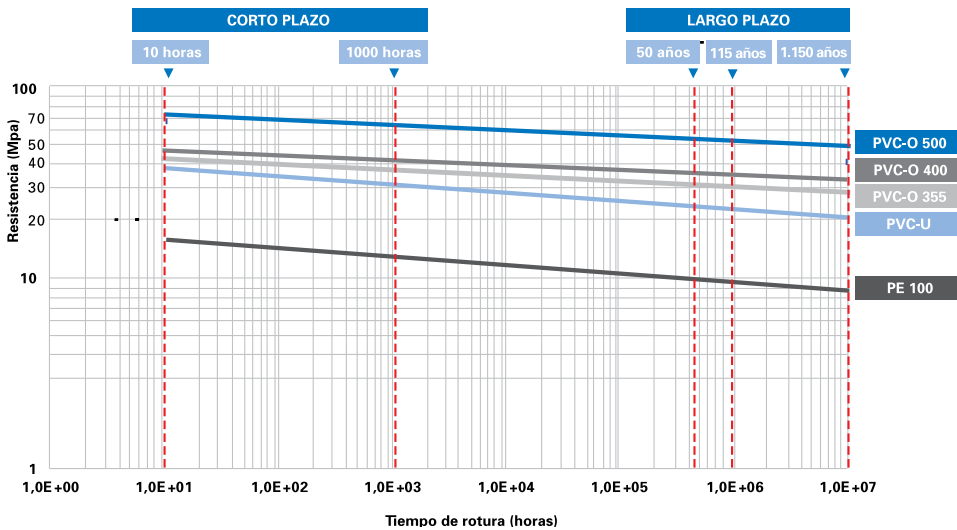


Nota: estos valores han sido calculados con una altura de zanja de 2 m, un tipo de terreno poco cohesivo y con cargas verticales.

Presión interna (elevada resistencia hidrostática a corto y largo plazo).

Las redes de presión deben diseñarse garantizando que las presiones de trabajo no superen los timbrajes nominales de las conducciones. No obstante, la tubería TOM® soporta resistencias a presión interna por encima de la presión nominal, lo que permite soportar sobrepresiones puntuales.

Todos los materiales pierden propiedades mecánicas al estar sometidos durante largo tiempo a esfuerzos. Esta característica definida como “fluencia”, se manifiesta en mucho menor grado en el PVC-O 500 que en los plásticos convencionales, lo que conlleva unas mejores propiedades a largo plazo. Teniendo en cuenta que el PVC-O tiene una resistencia a la fatiga excepcional y una altísima resistencia química, podríamos hablar de una tubería capaz de soportar las presiones de trabajo durante más de 100 años.



Curvas de regresión para distintos materiales.

Depresión o vacío.

Los tubos pueden estar sujetos a un posible colapso cuando se encuentren sometidos a condiciones de presión negativa, debidas al vacío y/o a la presión exterior o de la capa freática, si no están sujetos al terreno o por otros medios de refuerzo lateral. Así en el caso de la tubería TOM® 500, la norma ISO 16422 establece las siguientes presiones críticas de colapso para las distintas tuberías:

- 75 Kilopascal [kPa] = 0,75 Bar
- 157 Kilopascal [kPa] = 1,57 Bar
- 306 Kilopascal [kPa] = 3,06 Bar
- 598 Kilopascal [kPa] = 5,98 Bar

Igualmente, y según indica dicha norma, el sistema de unión de la tubería TOM® 500, es ensayado a presiones negativas con deformaciones forzadas (desviación angular y diametral) para comprobar su estanqueidad. Dicho ensayo consiste en dos ciclos de -0,1 bar y -0,8 bar a 15 minutos, entre 17 y 23 °C ± 2.

1.4.2 Resistencia química

Resistencia a la corrosión.

El PVC orientado es inmune a la corrosión y a las sustancias químicas presentes en la naturaleza debido a su inercia química. La tubería TOM® es por tanto de una difícil degradación salvo por sustancias químicas específicas. Además, no requiere ningún tipo de protección o recubrimiento especial, lo que repercute en un ahorro de costes. Todo ello hace a la tubería TOM® especialmente indicada para instalación de redes en terrenos agresivos o con corrientes vagabundas que aceleran la corrosión de tuberías metálicas.

Ver Tabla de resistencia química de las tuberías de PVC-O, Anexo 7.4, extraída del informe UNE 53389 IN equivalente al Informe técnico Internacional ISO/TR 10358:1993.

Igualmente, y dada la baja rugosidad interior de la tubería TOM®, se minimizan las incrustaciones evitando cambios de color en el agua así como disminución en el caudal.

Calidad del agua.

Actualmente, su aptitud para el transporte de agua potable cumple con lo establecido en las legislación de España (Real Decreto 140/2003 “*Criterios de calidad del agua de consumo humano*” y está certificada en Francia (Certificado ACS [*Attestation de Conformite Sanitaire*]), Bélgica (Certificado Hydrocheck) y Reino Unido (Certificado WRAS [*Water Regulations Advisory Scheme*] y DWI [Drinking Water Inspectorate]).

1.4.3 Características hidráulicas

Excelente comportamiento frente al golpe de ariete.

Cualquier perturbación en el régimen de funcionamiento habitual de una conducción en presión provoca un fenómeno transitorio. Las perturbaciones más estudiadas y conocidas son las producidas por el cierre de una válvula, las producidas por el arranque de una bomba o las debidas a la parada brusca de una bomba. Se podría definir al fenómeno de Golpe de Ariete como la oscilación de presión por encima o por debajo de la normal a raíz de las rápidas fluctuaciones de la velocidad del flujo. Las maniobras parada total, producen los golpes de ariete de máxima intensidad puesto que se pone de manifiesto la transformación total de la energía del movimiento en energía de presión. El cierre de una válvula provoca un transitorio que depende de la rapidez de cierre de la misma y de otros conceptos físicos como la celeridad de transmisiones de una onda sónica a través del material de la tubería. Se trata de un transitorio que, de alguna manera, podemos controlar impidiendo que el cierre de la válvula sea excesivamente rápido, ya que la intensidad depende del intervalo de obturación. La parada brusca de un bombeo provoca un transitorio muy difícil de impedir ya que se genera cuando la instalación sufre una caída repentina de energía.

La celeridad de la tubería TOM® es menor que en el resto de canalizaciones (hasta cuatro veces inferior en el caso de las conducciones metálicas), lo que le permite minimizar los golpes de ariete derivados de variaciones bruscas de caudal y presión. Se minimiza también la posibilidad de roturas en las aperturas y cierres de los elementos singulares de las redes y los arranques de impulsiones, protegiendo a todos los elementos de la red.

El golpe de ariete está producido por la inercia del líquido que se desplaza por la tubería y se detiene de forma rápida por la apertura o el cierre rápido de una válvula, por el arranque o paro de una bomba o por la acumulación o los movimientos de bolsas de aire dentro de las tuberías. El golpe de ariete puede provocar una sobrepresión superior a la presión de trabajo de la tubería y dañarla, especialmente si se encuentra ya afectada por una deficiente puesta en obra y por fenómenos corrosivos.

Existen dos fórmulas para el cálculo del golpe de ariete (ΔP).

Para el caso de conducciones largas, se usa la fórmula de **Allievi**:

$$\Delta P = \pm \frac{av}{g} \quad \text{si } T < \frac{2L}{a}$$

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K_c \cdot \frac{D_m}{e}}}$$

$$K_c = \frac{10^{10}}{E}$$

Para el caso de conducciones cortas, se usa la fórmula de **Michaud**:

$$\Delta P = \pm \frac{2Lv}{gT} \quad \text{si } T < \frac{2L}{a}$$

Siendo:

ΔP : sobrepresión debida al golpe de ariete, en m

a: celeridad (velocidad de propagación de las ondas), en m/s

v: velocidad de circulación del agua, en m/s

g: aceleración de la gravedad ($g=9,81 \text{ m/s}^2$)

T: tiempo efectivo de cierre, en s

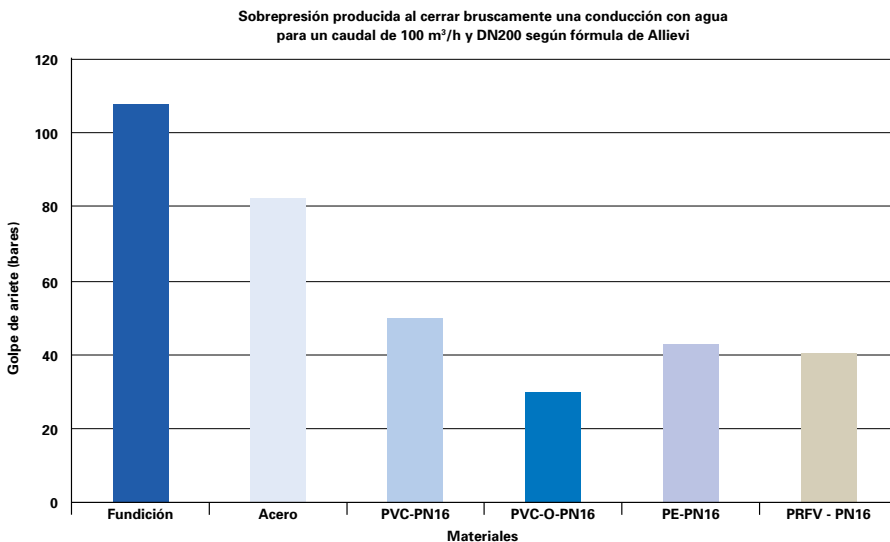
L: longitud de la tubería, en m

E: módulo de elasticidad del material de la tubería, en kg/m^2

D_m : diámetro medio de la tubería, en mm

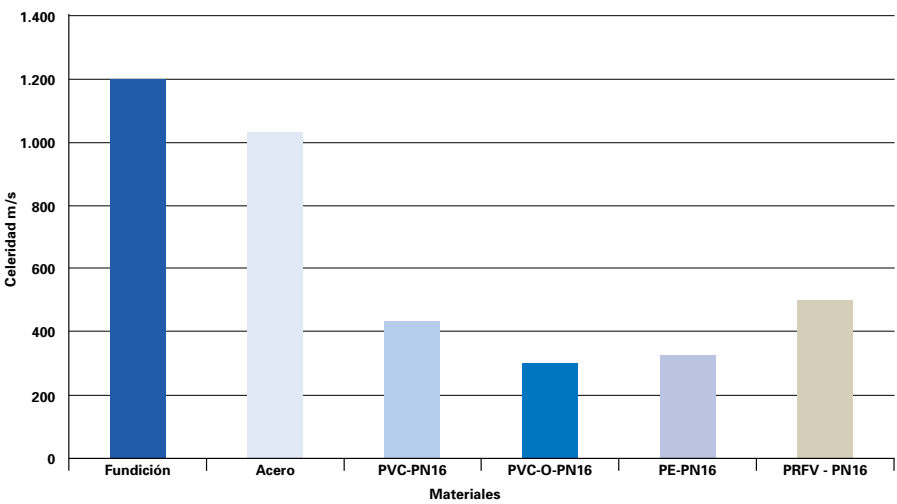
e: espesor de la tubería, en mm

En el siguiente gráfico puede verse un ejemplo de cálculo del golpe de ariete en distintos materiales para un caudal de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ y DN200:



Tubería de PVC Orientado TOM® . . .

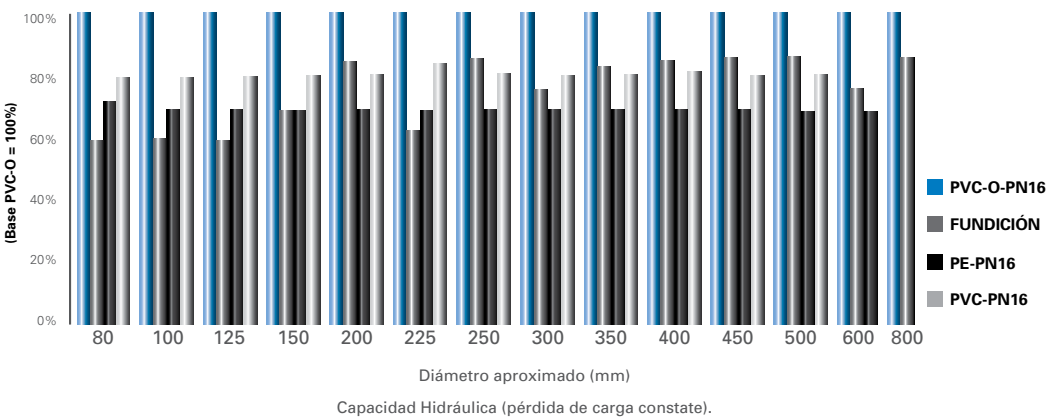
La tubería de PVC orientado TOM® tiene una celeridad muy inferior a la de las tuberías de otros materiales. Es especialmente significativa la diferencia con las tuberías de materiales metálicos, donde los efectos del golpe de ariete pueden llegar a ser muy elevados.



Mayor capacidad hidráulica.

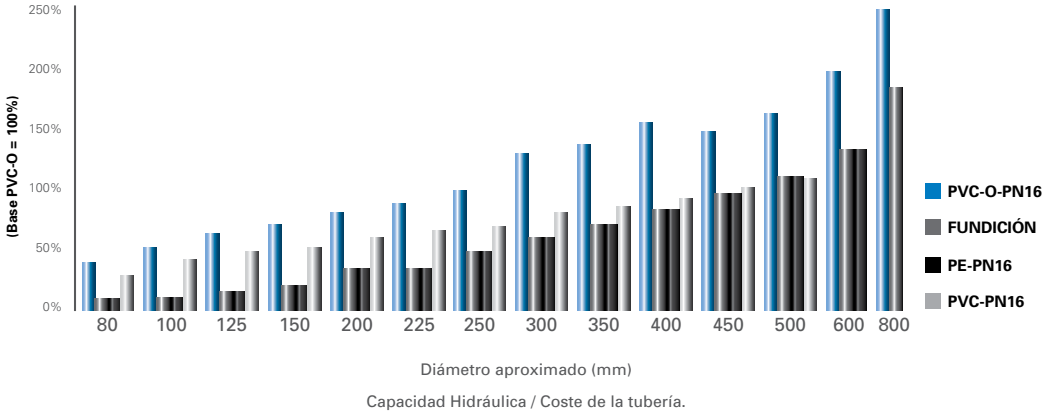
La reducción del espesor de pared que se produce en el proceso de orientación molecular, proporciona a la tubería TOM® mayor diámetro interno y sección de paso. Además, la superficie interna es extremadamente lisa, lo que reduce al mínimo las pérdidas de carga y dificulta la formación de depósitos en las paredes del tubo.

De esta forma se logra entre un 15% y un 40% de mayor capacidad hidráulica que tuberías de otros materiales con diámetros externos similares.



Las tuberías, además de ser capaces de soportar la presión, han de transportar la mayor cantidad de agua con el menor gasto energético. El menor espesor frente a las tuberías de plástico convencionales y la menor rugosidad interna comparada con tuberías metálicas, hacen de la tubería TOM® la de mayor capacidad hidráulica.

La utilización de tuberías con menor capacidad hidráulica conllevará usar un mayor diámetro nominal, lo que perjudicará la rentabilidad y el coste de la inversión de la infraestructura. La solución con tubería TOM® siempre dará la mejor eficiencia entre el coste de la inversión y la capacidad hidráulica disponible.



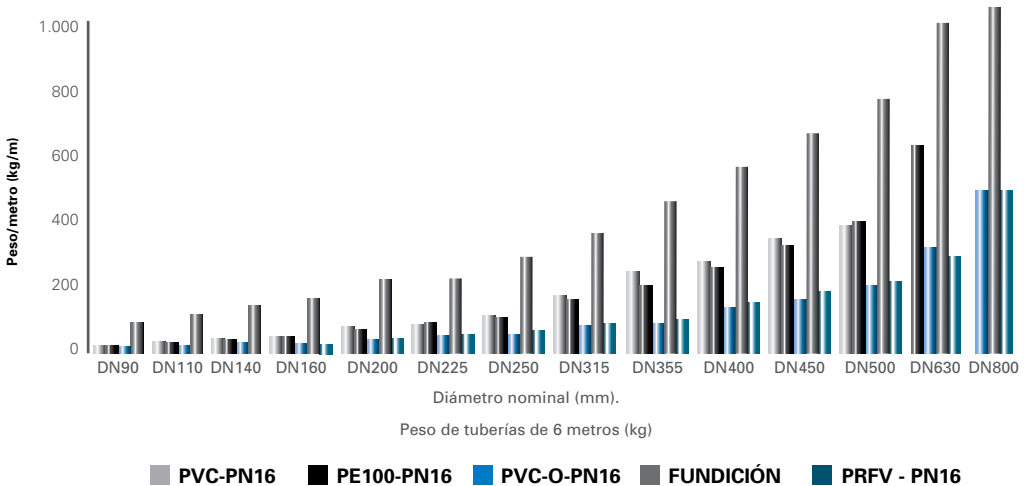
Estanqueidad en conexiones.

La tubería TOM®, posee la embocadura integrada con una junta de estanqueidad, compuesta por un anillo de PP y un labio de caucho sintético la cual forma parte integral del tubo, impidiendo que se desplace de su alojamiento o que sea arrollada en su montaje.

1.4.4 Facilidad de instalación

Ligereza, manejabilidad y facilidad de conexión.

El sistema de unión se realiza mediante la introducción del macho del tubo en la embocadura de otro en el que se encuentra dicha junta elástica. Dado a la ligereza, manejabilidad y facilidad de conexión de la tubería TOM®, nos permite la disminución de la mano de obra, maquinaria y tiempo de ejecución.



PVC-O PN16	
DN	Peso de tuberías de 5,95 metros (kg)
90	8
110	10
140	15
160	19
200	29
225	36
250	44
315	70
355	88
400	112
450	142
500	175
630	278
800	449

Tabla de pesos de las tuberías TOM®

1.4.5 Eficiencia en recursos

Materias primas.

La resina de PVC sólo utiliza un 43% de etileno, esto conduce a una optimización de los derivados del petróleo necesarios para su fabricación. Además, gracias a la reducción del espesor de la pared, se utiliza menos materia prima para conseguir un tubo con mayores propiedades mecánicas.

Energía y en emisión de CO₂.

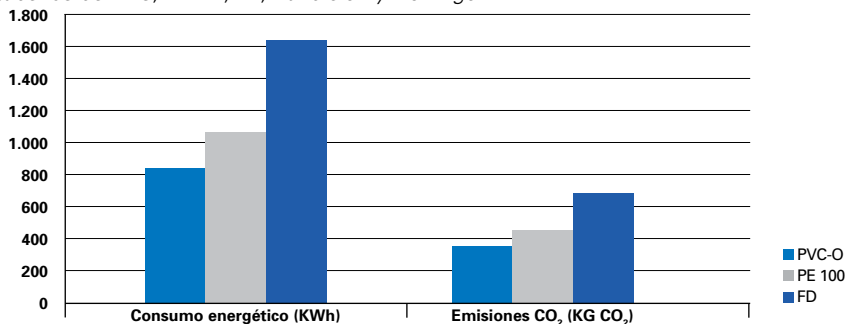
La tubería TOM® es la solución más ecológica, siendo la que mejor contribución tiene al desarrollo sostenible, ya que durante todo su largo ciclo de vida es la que tiene menor consumo de energía y por tanto la que menor emisión de CO₂ produce a la atmósfera.



Ciclo de vida de un sistema de tuberías de PVC-O TOM®

A continuación se muestra la energía consumida y emisiones de CO₂ que tienen lugar durante todo el largo ciclo de vida de la tubería TOM®. Según el estudio realizado por la Universidad Politécnica de Cataluña “Estimación del consumo energético y de la emisión de CO₂ asociados a la producción, uso y disposición

final de tuberías de PVC, PEHD, PP, Fundición y Hormigón”.



Gestión de residuos.

La tubería TOM® es 100% reciclable.

1.5 Aplicaciones (redes de agua a presión)

Una red de agua a presión es un sistema encargado del transporte y distribución de un fluido, desde los puntos de producción y almacenamiento, hasta los puntos de consumo. Las características del flujo a presión en contraposición al transporte en lámina libre, implica que el fluido llena completamente la sección de las conducciones, y no está en contacto con la atmósfera salvo en puntos muy concretos y determinados (cuando el fluido es vertido en los puntos de consumo o en la superficie libre de los depósitos).

Las principales aplicaciones de estas tuberías son:

- Redes de abastecimiento y distribución de agua potable.
- Redes de reutilización, conducciones para el transporte del agua obtenida en depuración.
- Redes de riego para parques, jardines, campos de golf, recintos deportivos, etc.

1.5.1 Redes de abastecimiento y distribución de agua potable

Una red de abastecimiento es un conjunto de instalaciones que conectan las fuentes de suministro con las acometidas domiciliarias u otros puntos de consumo. Por su función específica, se considera subdividida en cuatro redes encadenadas:

Captación: Conjunto de instalaciones de regulación, derivación, alumbramiento y conducción de las aguas superficiales y subterráneas, desde las fuentes de suministro hasta las instalaciones de tratamiento. Comprende presas, azudes, canales, pozos, estaciones de bombeo y conducciones de agua bruta.

Tratamiento: Conjunto de instalaciones de potabilización necesarias para que el agua de suministro alcance los valores paramétricos establecidos en las distintas legislaciones para el agua de consumo humano.

Aducción: Conjunto de conducciones e instalaciones que conecta las estaciones de tratamiento con las redes de distribución. Normalmente, la red de aducción tiene estructura de árbol, puede intercalar estaciones elevadoras y cada rama termina en un depósito o válvula de control. Su trazado generalmente no discurre por suelo urbano, atraviesa frecuentemente varios municipios, y debe mantenerse exenta de acometidas e hidrantes, a fin de no condicionar su régimen de explotación.

Distribución: Conjunto de conducciones e instalaciones que conecta los puntos de entrega de la red de aducción (depósito o válvula de control) con las acometidas domiciliarias. Su diseño, salvo excepción justificada, será mallado y su trazado discurrirá normalmente por suelo urbano o periurbano dentro de un mismo municipio. A los efectos de su diseño y explotación, dentro de la red de distribución se distinguen tres redes superpuestas:

- **Red de transporte:** Conjunto de conducciones troncales de la red de distribución que interconectan los puntos de entrega de la red de aducción con las distintas zonas de presión y consumo del municipio, asegurando la continuidad hidráulica de la red básica del abastecimiento. Generalmente el diámetro nominal de las conducciones de la red de transporte será igual o superior a 315 mm y sobre ellas debe evitarse la instalación de acometidas e hidrantes.

- **Red principal:** Conjunto de conducciones de reparto sobre las que se pueden instalar acometidas e hidrantes, compuesto por tuberías de diámetro nominal igual o superior a 250 mm.

- **Red secundaria:** Conjunto de conducciones de reparto compuesto por el resto de conducciones de diámetro nominal inferior a 200 mm, sobre las que se podrán instalar acometidas.



Abastecimiento de la Mancomunidad de Cardeñosa (Ávila).

1.5.2 Redes de reutilización

Una red de reutilización es aquella que permite suministrar agua regenerada obtenida en depuración para el riego de parques, jardines, zonas verdes y campos de golf.

Las redes de reutilización se estructuran, atendiendo a su función y gestión, en las siguientes categorías:
Red de aducción: Corresponde a los tramos que conectan las salidas de las estaciones depuradoras con los depósitos de regulación (incluidos éstos).

Red de distribución: Corresponde a los tramos que conectan los depósitos de regulación con los puntos de entrega o acometidas.

Red de aplicación: Corresponde a la propia red de riego del parque o la red de uso privado para riego de zonas verdes, etc.



Suministro de Agua de Riego con Agua Reutilizable . Municipio de Coslada (Madrid).

1.5.3 Redes de riego

Una red de riego se define como un conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas. Un sistema de riego consta de una serie de componentes como son aspersores, emisores de riego localizado, canales de riego, canales de drenaje, dispositivos móviles de riego por aspersión, embalse, estación de bombeo, pozos y sobre todo conducciones. No necesariamente la red de riego tendrá que constar de todos estos componentes ya que dependerá de si se trata de riego superficial, por aspersión, o por goteo.

Por tanto, el transporte del agua destinada al riego, incluye tanto conducciones a zonas de regadío (parques, jardines, campos de golf, recintos deportivos, etc.), como distribución a parcelas y dentro de la parcela, y también impulsiones a depósitos, balsas y embalses.

En definitiva, una red está constituida por una gran variedad de elementos, pero sin ninguna duda, las tuberías son el componente principal. Desde el punto de vista funcional, la tubería es el elemento de la red que permite el transporte del agua, y los componentes restantes actúan únicamente como auxiliares de esta función.



Regadío Lanciego.

1.5.4 Redes de saneamiento a presión

Son conducciones para el transporte del agua de origen sanitario e industrial y las provenientes de los fenómenos meteorológicos, para proceder, tras los oportunos tratamientos, a su aprovechamiento y/o reincorporación al medio natural.



Urbanización P.I. Cuesta Blanca, Tarazona de la Mancha (Albacete).

1.5.5 Otras aplicaciones

- Conducciones para infraestructuras.
- Saneamiento.
- Redes contra incendios.
- Aplicaciones industriales.

Diseño de la red





2.1 Cálculos hidráulicos

2.1.1 Necesidades hidráulicas

Todo proyecto de diseño de una red de transporte o distribución de agua, parte de la determinación de una necesidad de suministro hidráulico (Q_n), bien sea a uno o varios puntos de consumo.

En el caso de transporte entre dos puntos, existirá una necesidad de un caudal determinado en el punto de salida que coincidirá con el caudal a lo largo de toda la red de transporte (Q_t). En el caso de una red de distribución con varios puntos de consumo, habrá distintos caudales a lo largo de dicha red según sea el mallado, los caudales y puntos de consumo ($Q_1, Q_2, \dots, Q_n$).

El cálculo de la necesidad hidráulica se realiza de forma distinta según sean los tipos de puntos de consumo que se vayan a tener:

- En **abastecimiento urbano** se realizará normalmente por criterios de consumo diario per cápita o por dotaciones por tipo de vivienda, a dichos consumos se aplicarán coeficientes punta y/o de simultaneidad siempre en función de la cantidad de población a abastecer.
- En **industrias o actividades agro-ganaderas** vendrán determinados por los procesos específicos que se utilicen y los volúmenes productivos.
- En **riego** los caudales de consumo vendrán determinados por los sistemas de riego seleccionados en cada momento, bien sean **por aspersión o por riego localizado**, y de la regulación de dichos sistemas (emisores, boquillas o cartas de riego).
- En caso de **redes contraincendios** o en **riego por gravedad** serán los hidrantes los que determinarán el caudal de los puntos de consumo.
- En **llenado de depósitos** o cualquier otra aplicación de **transporte de agua**, serán los volúmenes a llenar o transportar y el tiempo destinado para ello lo que determine el caudal necesario.

Los caudales obtenidos en los puntos de consumo (Q_n), vendrán determinados por las presiones que se tenga en esos puntos antes de los elementos de regulación, por ello, habrá que colocar los elementos de regulación necesarios para obtener dichos caudales (emisores de riego, boquillas de aspersión, llaves de paso, válvulas reguladoras, etc.). En el caso de que se quiera obtener el mayor caudal posible, no se colocará ningún elemento de regulación (salida libre) y éste estará determinado exclusivamente por la conducción y la sección de salida, además de las diferencias de presión en la red.

Las diferencias de presión vienen determinadas por:

- Las diferencias de **altura manométrica** tanto en impulsiones/bombeos como en conducciones por gravedad.
- La presión producida por el **bombeo** es determinada por la curva Caudal (Q) – Presión (P) de dicha bomba.
- Las **pérdidas de carga** producidas a lo largo de las **conducciones**, las cuales también van a ser dependientes del caudal (Q) que pase por las mismas.
- Las **pérdidas de carga localizadas** en todos los elementos de la red (codos, tes, válvulas, reducciones, etc.).

2.1.2 Selección de diámetros

2.1.2.1 Consideraciones iniciales y definiciones

En primer lugar, en los cálculos hidráulicos de tuberías, siempre que se hagan referencias genéricas al diámetro de una conducción, debe entenderse que se trata de diámetro interior (ID), ya que es el que condiciona la capacidad

de transporte. Luego, el dimensionamiento hidráulico de la tubería viene dada por la determinación del diámetro.

A continuación se definen una serie de conceptos básicos referentes a la selección de diámetros en tuberías:

- **Diámetro interior (ID).** Diámetro interior medio de la tubería en una sección cualquiera.
- **Diámetro exterior (OD).** Diámetro exterior medio de la tubería en una sección cualquiera.
- **Diámetro nominal (DN).** Valor tomado de una serie de números convencionales que se adopta para caracterizar dimensionalmente a los diámetros, y que coincide aproximadamente, en general, con su valor real en milímetros.

Se puede referir tanto a los diámetros interiores (diámetro nominal interior, DN/ID), como a los exteriores (diámetro exterior nominal, DN/OD), ahora bien, cuando se hable simplemente de diámetro nominal, DN, se debe de tener en cuenta que en unas tuberías se refiere al diámetro interior cuando es de fundición, hormigón y PRFV, y al diámetro exterior cuando es acero, PVC-U, PP, PE y en el caso de la tubería TOM® PVC-O.

2.1.2.2 Velocidades aconsejadas

En los cálculos hidráulicos de tuberías, siempre que se hagan referencias genéricas al diámetro de una conducción, debe entenderse que se trata de diámetro interior (ID), ya que es el que condiciona la capacidad de transporte de dicha tubería. Luego, el dimensionamiento hidráulico de la misma viene dado por la determinación del diámetro.

$$v = 1,5 \cdot \frac{0,013}{n} \sqrt{ID + 0,05}$$

Donde:

v: Velocidad de circulación del agua en m/s

ID: Diámetro interior de la tubería en m

n: Coeficiente de Manning (para el PVC-O , n = 0,007 para una tubería nueva y n = 0,009 para un tubería en servicio)

En el [Anexo 7.3](#) se indican los distintos valores de n en función del material.

A continuación se hace una comparativa entre las velocidades máximas aconsejadas de toda la gama de tuberías PVC-O TOM® C500 PN16, Fundición K9 y PE100 PN16:

PVC-O C500 PN16				FUNDICIÓN DÚCTIL K9				PE100 PN16			
Diámetro Nominal (DN)	Diámetro Interior (ID)	Vel. max. (m/s)	Caudal max. l/s	Diámetro Nominal (DN)	Diámetro Interior (ID)	Vel. max. (m/s)	Caudal max. l/s	Diámetro Nominal (DN)	Diámetro Interior (ID)	Vel. max. (m/s)	Caudal max. l/s
90	84,00	0,79	4,40	100	95,90	0,60	4,30	90	73,60	0,76	3,20
110	104,00	0,85	7,22	125	121,60	0,60	7,00	110	90,00	0,81	5,20
140	132,40	0,93	12,70	150	147,30	0,60	10,20	140	114,60	0,88	9,10
160	151,40	0,97	17,50	200	198,90	0,60	18,60	160	130,80	0,92	12,40
200	189,20	1,06	29,80	250	249,90	0,63	30,80	200	163,60	1,00	21,00
225	212,80	1,11	39,50	300	300,90	0,68	48,30	225	184,00	1,05	27,90
250	236,40	1,16	50,90	350	349,70	0,73	69,60	250	204,60	1,09	35,90
315	298,00	1,28	89,10	400	399,70	0,77	96,50	315	257,80	1,20	62,70
355	336,00	1,35	119,30	450	449,50	0,81	128,70	355	290,60	1,26	83,80
400	378,40	1,42	159,50	500	500,50	0,85	167,40	400	327,40	1,33	112,10
450	426,00	1,50	213,10	600	601,30	0,93	263,00	450	368,20	1,40	149,20
500	472,80	1,57	275,10	800	800,00	1,06	531,80	500	409,20	1,47	193,10
630	595,80	1,74	485,40					630	515,60	1,63	340,10
800	757,80	1,95	878,10								

Cálculo realizado con la fórmula de Manning, utilizando criterios de pérdida de carga similares en todos los materiales y diámetros. Se trata de un criterio conservador. Para los casos en los que la velocidad resultante sea inferior a 0,6 m/s, en la anterior tabla el caudal es el resultado de aplicar dicha velocidad.

$$v = 1,5 \times \frac{0,013}{n} \times \sqrt{(ID + 0,05)}$$

En general, para evitar sedimentos, se establece como valor mínimo de velocidad 0,6 m/s y como valores máximos entre 2,0 - 2,5 m/s para evitar el golpe de ariete, los ruidos, la erosión y elevadas pérdidas de carga.

En estaciones de bombeo se recomienda unas velocidades en las tuberías entre 0,8 – 1,4 m/s.

Para las aplicaciones en saneamiento, se comprobará la velocidad de circulación de la tubería considerando las siguientes hipótesis:

- Circulación del caudal máximo de diseño.

En la hipótesis de circulación del caudal máximo de diseño (Qmax), deberá verificarse que la velocidad de circulación del agua no excede, en general, el valor de 3 m/s, sin sobrepasar nunca el de 5 m/s.

- Circulación del caudal mínimo de diseño.

En la hipótesis de circulación del caudal mínimo de diseño (Qmin), deberá verificarse que la velocidad de circulación del agua supera, en general, el valor de 0,6 m/s.

2.1.2.3 Red de transporte para un único consumo

2.1.2.3.1. Consideraciones generales

En primer lugar, hay que hacer un análisis de como fluye el agua a través de una conducción en cuanto a los posibles regímenes:

- Flujo de régimen variable o no permanente: cuando la velocidad en un punto determinado varía en el tiempo.
- Flujo de régimen estacionario o permanente: cuando la velocidad en un punto determinado no varía en el tiempo.
- Flujo de régimen no uniforme: cuando la velocidad en un instante determinado es distinta de un punto a otro.
- Flujo de régimen uniforme: cuando la velocidad en un instante determinado es la misma de un punto a otro.

Y en segundo lugar, hay que hacer un análisis en cuanto al funcionamiento hidráulico:

- Flujo en presión: Siempre se considera en conductos cerrados, cuando el agua llena totalmente la sección y ejerce una presión sobre la superficie interior de la misma por encima de la presión hidrostática. Las redes habituales de distribución de agua en zonas urbanas son ejemplos claros de este tipo de flujos abarcando la mayor parte de aplicaciones de las tuberías PVC-O TOM®: abastecimiento, reutilización, riego, etc.

- Flujo en lámina libre: Se considera si la sección es abierta, como en el caso de canales, o en el caso de que la

sección esté cerrada, cuando el agua no llena la sección, quedando una parte de la sección llena de aire, a presión atmosférica, que impone sobre el agua un perfil de presiones más o menos hidrostático. Este tipo de flujo se da en redes de saneamiento, y aunque en menor medida, también en aplicaciones de las tuberías PVC-O TOM®.

En este manual se va a orientar todo el cálculo hidráulico a sistemas de flujo en presión, en régimen permanente, haciendo una distinción entre red de transporte para un único consumo (conducción por gravedad y bombeo) y red de transporte para varios consumos (red mallada, ramificada y mixta).

La determinación del diámetro de una conducción con presión PVC-O TOM® se efectúa teniendo en cuenta:

- Los parámetros hidráulicos (caudal, pérdidas de carga, velocidad), para una conducción por gravedad.
- Los parámetros hidráulicos y económicos óptimos (costo del bombeo y amortización de las instalaciones) para una conducción de bombeo.
- En función de las condiciones de servicio, se deben medir los riesgos eventuales de golpes de ariete, cavitación y abrasión, e instalar las protecciones adecuadas.

2.1.2.3.2. Conducción por gravedad

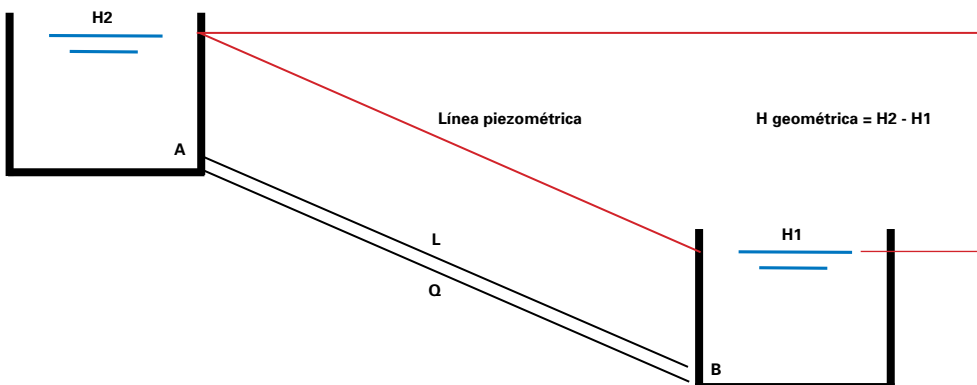
La conducción por gravedad consiste, en que a partir de un almacenamiento de agua natural o artificial, situado a cota H_2 abastece con una conducción a presión, todos los puntos situados a cotas $H_1 < H_2$, sin necesidad de bombeo. En este caso, el transporte del fluido se logra por diferencias de energías disponibles.

La fórmula que relaciona el caudal con la velocidad del fluido es la siguiente:

$$Q = v \cdot \text{sección} = v \cdot \pi \frac{ID^2}{4} \cdot 10^3$$

- Q: caudal en función de las necesidades, en l/s
- v: velocidad del agua en la conducción, en m/s
- ID: diámetro interno de la conducción, en m

$$\Delta H_g (H_{\text{geométrica}}) = H_2 - H_1$$



Para el cálculo de las **pérdidas de carga continuas** se recomienda que se calculen mediante la expresión universal de Darcy-Weisbach:

$$J = \frac{\Delta H_c}{L} = \frac{f}{ID} \times \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

J: Pérdida de carga continua, por unidad de longitud, en m/m

v: Velocidad de circulación del agua, en m/s

ΔH_c : Pérdida de carga continua, en m

L: Longitud del tramo, en m

ID: Diámetro interior del tubo, en m

g: Aceleración de la gravedad, en m/s²

f: Coeficiente de pérdida de carga por unidad de longitud (o coeficiente de fricción), adimensional

Las de Hazen-Williams y Manning son las fórmulas que más empleo tienen en la práctica. Estas fórmulas no contemplan el parámetro (f), anteriormente referido en la fórmula de Darcy-Weisbach.

La pérdida de carga según Prandtl-Colebrook-White se puede calcular utilizando dos fórmulas: la primera sin el parámetro (f) (fórmula apartado 2) o con el parámetro (f) (fórmula apartado 4). En los casos prácticos de este manual se utilizará la fórmula apartado 2.

1. Hazen-Williams:

$$V = 0,36 \cdot C \cdot ID^{0,63} \cdot J^{0,54}$$

2. Prandtl-Colebrook-White:

$$v = -2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot ID} \cdot \log \left(\frac{k_a}{3,71 \cdot ID} + \frac{2,51 \cdot V_c}{ID \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot ID \cdot J}} \right)$$

3. Manning:

$$J = \frac{6,35 \cdot v^2 \cdot n^2}{ID^{4/3}}$$

Dado que las tuberías de PVC-O son hidráulicamente lisas, el cálculo del coeficiente de pérdidas de carga o de energía por unidad de longitud (f) que aparece en la fórmula de Darcy-Weisbach, se puede realizar mediante las siguientes expresiones empíricas:

4. Prandtl-Colebrook-White:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{2,51}{R_e \cdot \sqrt{f}} \right) \right]^2}$$

5. Blasius:

$$f = 0,316 \cdot R_e^{-0,25}$$

Donde:

$$R_e = \frac{v \cdot ID}{v_c}$$

v: velocidad de circulación del agua, en m/s

c: coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams (para el caso del PVC-O TOM®, C = 150 para conducción nueva y C = 140 para conducción en servicio)

ID:	diámetro interior del tubo, en m
J:	pérdida de carga continua, por unidad de longitud, en m/m
K_a :	rugosidad absoluta en m (para el PVC-O TOM® $k_a = 0,003 \cdot 10^{-3}$ m para conducción en nueva y $k_a = 0,007 \cdot 10^{-3}$ m para conducción en servicio)
n:	coeficiente de rugosidad de Manning. Para el caso del PVC-O TOM®, $n = 0,007$ para conducción nueva y $C = 0,009$ para conducción en servicio
f:	coeficiente de pérdida de carga por unidad de longitud (o coeficiente de fricción); adimensional
R_e :	número de Reynolds (adimensional)
ν_c :	viscosidad cinemática, en m^2/s ($1,01 \times 10^{-6}$, para el agua a $20^\circ C$)

En el [Anexo 7.3](#) se indican diferentes valores extremos para tuberías, nuevas y en servicio, del coeficiente de rugosidad en función del tipo de material y de la fórmula de pérdida de carga empleada.

Adicionalmente a las pérdidas de carga continuas debida a la fricción, deben de calcularse las **pérdidas de carga localizadas** (ΔH_l) de los accesorios, serán significativas si son numerosos o si la tubería es relativamente corta. Estas se pueden evaluar como una fracción k_l del término $V^2/2g$ o como una longitud equivalente.

El coeficiente K es adimensional y depende del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería.

En este manual se va a adoptar el cálculo de pérdida como una fracción k_l del término $V^2/2g$:

$$\Delta H_l = K_l \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Y por lo tanto, las pérdidas total localizadas son:

$$\Delta H_{TL} = \sum_l^n = 1 \Delta H_l$$

Se pueden distinguir tres familias de disipación de energía:

- Estrechamientos y ensanchamientos.
- Cambios de dirección o derivaciones.
- Obstrucciones (válvulas o llaves de paso).

En el [Anexo 7.2](#), se indican los coeficientes de pérdidas de carga localizada k_l del término $V^2/2g$ para estas tres familias.

No obstante, se pueden hacer ciertas consideraciones para evaluar dicha pérdida de un modo más general:

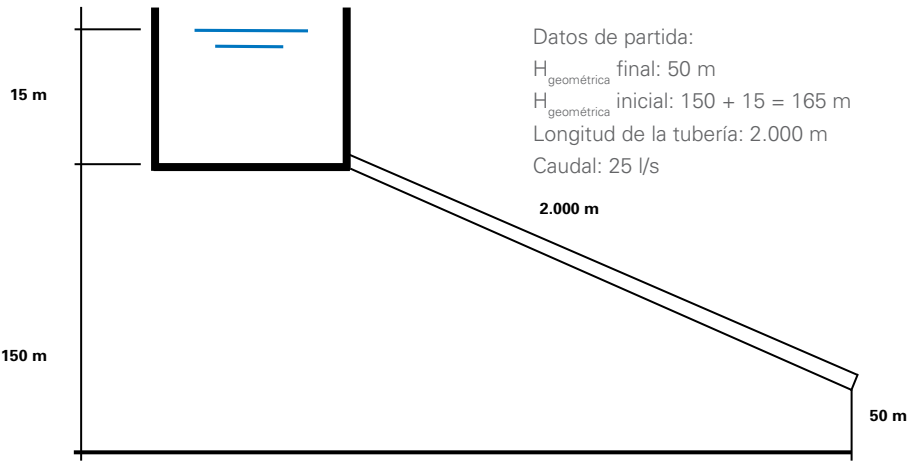
- En el caso de válvulas, puede considerarse como equivalente la pérdida de carga por rozamiento en una conducción recta de 10 m de longitud y de igual diámetro que el accesorio.
- Se podría considerar una longitud total de conducción incrementada en un 10–20%, dependiendo de la longitud y el mayor o menor número de puntos singulares.

Por tanto, la expresión para el cálculo de pérdida de carga total sería la siguiente:

$$\Delta H_T = \Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$$

CASO PRÁCTICO nº1.

Dado un depósito situado a cota 150 m, desde el que se desea enviar un caudal de 25 l/s a un punto de la conducción situado a la cota 50 m, mediante un tubería de 2.000 m de longitud. Considerando un nivel de agua en el depósito constante de 15 m ¿Cual sería la tubería necesaria (DN y PN)?



Cálculo de la pérdida de carga total:

- Cálculo de la diferencia de manométrica :

$$\Delta H_g = H_{\text{geométrica}} \text{ inicial} - H_{\text{geométrica}} \text{ final} = 165 - 50 = 115 \text{ m}$$

- Cálculo de la pérdida de carga continua (J) :

A partir de las expresiones de Darcy-Weisbach para el cálculo de pérdidas de carga continuas y de las expresiones anteriormente descritas para los coeficientes de pérdida, se obtienen los siguientes resultados considerando una tubería nueva y en servicio. Se han seleccionado como base de cálculo las tuberías TOM® PVC-O DN160 PN16 y DN200 PN16.

Tubería			PVC-O 160 PN16	PVC-O 200 PN16
Di	Diámetro interior	mm	151,4	189,2
L	Longitud	m	2.000	2.000
Q	Caudal	l/s	25,0	25,0
v	Velocidad	m/s	1,39	0,89
v	Velocidad max	m/s	0,97	1,06
ΔH_g		m.c.a.	115	115

ΔH_c				
--------------	--	--	--	--

Pérdida de carga (S/Hazen-Williams)			PVC-O 160 PN16	PVC-O 200 PN16
C	C. Hazen-Williams (t. nueva)	-	150	150
C	C. Hazen-Williams (t. servicio)	-	140	140
J	Pérdida carga (t. nueva)	m/km	10,55	3,56
ΔH_c	Pérdida carga (t. nueva)	m.c.a.	21,1	7,1
J	Pérdida carga (t. servicio)	m/km	11,99	4,05
ΔH_c	Pérdida carga (t. servicio)	m.c.a.	24,0	8,1

Pérdida de carga (S/Prandtl-Colebrook)			PVC-O 160 PN16	PVC-O 200 PN16
k	Rugosidad absoluta (t. nueva)	mm	0,003	0,003
k	Rugosidad absoluta (t. servicio)	mm	0,007	0,007
v	Viscosidad cinemática	m ² /s	1,31E ⁻⁰⁶	1,31E ⁻⁰⁶
J	Pérdida carga (t. nueva)	m/km	10,69	3,66
ΔH_c	Pérdida carga (t. nueva)	m.c.a.	21,39	7,32
J	Pérdida carga (t. servicio)	m/km	10,81	3,69
ΔH_c	Pérdida carga (t. servicio)	m.c.a.	21,63	7,38

ΔH_{TL}	Se desprecian las pérdidas de carga localizadas			
-----------------	---	--	--	--

Pérdida de carga total (S/ Hazen-Williams)		PVC-O 160 PN16	PVC-O 200 PN16
--	--	----------------	----------------

Tubería nueva

ΔH_T	$\Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	136,1	122,1
--------------	---	--------	-------	-------

Presión de servicio	bar	13,9	12,5
---------------------	-----	------	------

Tubería en servicio

ΔH_T	$\Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	139,0	123,1
--------------	---	--------	-------	-------

Presión de servicio	bar	14,2	12,6
---------------------	-----	------	------

Pérdida de carga total (S/ Prandtl-Colebrook)		PVC-O 160 PN16	PVC-O 200 PN16
---	--	----------------	----------------

Tubería nueva

ΔH_T	$\Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	136,6	122,4
--------------	---	--------	-------	-------

Presión de servicio	bar	13,9	12,5
---------------------	-----	------	------

Tubería en servicio

ΔH_T	$\Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	136,4	122,3
--------------	---	--------	-------	-------

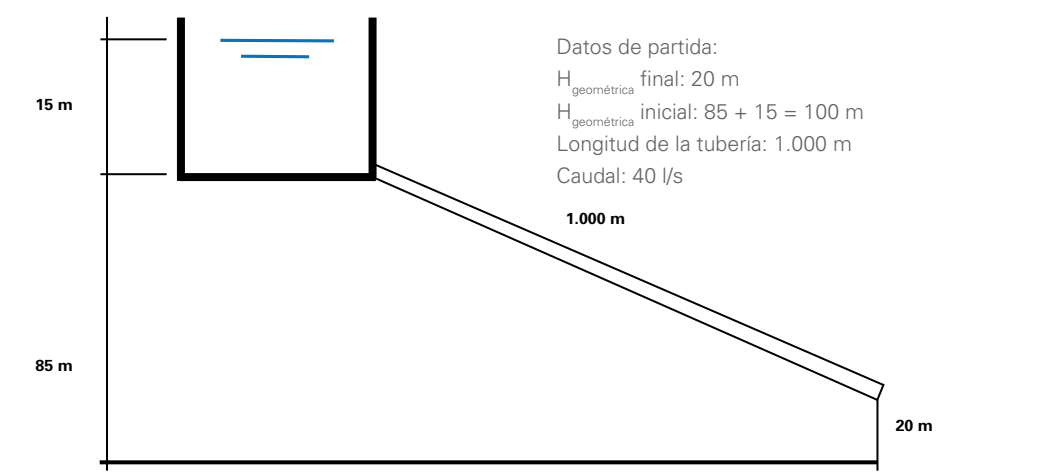
Presión de servicio	bar	13,9	12,5
---------------------	-----	------	------

Conclusión:

La tubería seleccionada sería DN200 dado que se obtiene una velocidad inferior al valor máximo recomendado. Igualmente, la presión de servicio obtenida indica que el timbraje adecuado de la tubería es PN16.

CASO PRÁCTICO nº2

Dado un depósito situado a la cota 85 m desde el que se desea enviar un caudal de 40 l/s a un punto de la conducción situado a la cota 20 m mediante un tubería de 1.000 m de longitud. Considerando un nivel de agua en el depósito constante de 15 m. Seleccionar el diámetro y el material adecuado.



Tubería	PE100 PN16
---------	------------

			DN200	DN225	DN250	DN315
Di	Diámetro interior	mm	163,6	184,0	204,6	257,8
L	Longitud	m	1.000	1.000	1.000	1.000
Q	Caudal	l/s	40,0	40,0	40,0	40,0
v	Velocidad	m/s	1,90	1,50	1,22	0,77
v	Velocidad máxima recomendada	m/s	1,00	1,05	1,09	1,20
ΔH_g		m.c.a.	80	80	80	80

ΔH_e	
--------------	--

Pérdida de carga (S/Hazen-Williams)						
C	C. Hazen-Williams (t. nueva)	-	150	150	150	150
C	C. Hazen-Williams (servicio)	-	140	140	140	140
J	Pérdida carga (t. nueva)	m/km	17,28	9,75	5,81	1,89
ΔH_e	Pérdida carga (t. nueva)	m.c.a.	17,28	9,75	5,81	1,89
J	Pérdida carga (servicio)	m/km	19,63	11,08	6,61	2,14
ΔH_e	Pérdida carga (servicio)	m.c.a.	19,63	11,08	6,61	2,14

Pérdida de carga (S/Prandtl-Colebrook)						
k	Rugosidad absoluta (t. nueva)	mm	0,005	0,005	0,005	0,005
k	Rugosidad absoluta (t. servicio)	mm	0,030	0,030	0,030	0,030
v	Viscosidad cinemática	m²/s	1,31E-06	1,31E-06	1,31E-06	1,31E-06



Fundición K9				PVC-O PN16			
DN200	DN250	DN300	DN350	DN200	DN225	DN250	DN315
198,9	249,9	300,9	349,7	189,2	212,8	236,4	298,0
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
1,29	0,82	0,56	0,42	1,42	1,12	0,91	0,57
0,60	0,63	0,68	0,73	1,06	1,11	1,16	1,28
80	80	80	80	80	80	80	80

Pérdida de carga (S/Hazen-Williams)							
130	130	130	130	150	150	150	150
100	100	100	100	140	140	140	140
8,70	2,86	1,16	0,56	8,51	4,80	2,88	0,93
8,70	2,86	1,16	0,56	8,51	4,80	2,88	0,93
14,14	4,65	1,88	0,90	9,67	5,45	3,27	1,06
14,14	4,65	1,88	0,90	9,67	5,45	3,27	1,06

Pérdida de carga (S/Prandtl-Colebrook)							
0,030	0,030	0,030	0,030	0,003	0,003	0,003	0,003
0,200	0,200	0,200	0,200	0,007	0,007	0,007	0,007
1,31E ⁻⁰⁶	1,31E ⁻⁰⁶	1,31E ⁻⁰⁶	1,31E ⁻⁰⁶	1,31E ⁻⁰⁶	1,31E ⁻⁰⁶	1,31E ⁻⁰⁶	1,31E ⁻⁰⁶

Diseño de la red . . .

Tubería			PE100 PN16			
			DN200	DN225	DN250	DN315
J	Pérdida carga (t. nueva)	m/km	17,37	9,84	5,90	1,94
ΔH_e	Pérdida carga (t. nueva)	m.c.a.	17,37	9,84	5,90	1,94
J	Pérdida carga (t. servicio)	m/km	18,72	10,48	6,22	2,01
ΔH_e	Pérdida carga (t. servicio)	m.c.a.	18,72	10,48	6,22	2,01
Q	Caudal (t. nueva)	m³/h	144,0	144,0	144,0	144,0
Q	Caudal (t. nueva)	l/s	40,0	40,0	40,0	40,0
Q	Caudal (t. servicio)	m³/h	144,0	144,0	144,0	144,0
Q	Caudal (t. servicio)	l/s	40,0	40,0	40,0	40,0
ΔH_{TL}						

Accesorio	Valor de k_f	Cantidad	Pérdida de carga (m.c.a.)			
Entrada-Salida	0,5	1	0,092	0,058	0,038	0,015
Codos de 20º	0,38	2	0,140	0,088	0,057	0,023
Codos de 40º	0,62	2	0,229	0,143	0,094	0,037
Codos de 90º	1	1	0,185	0,115	0,076	0,030
Válvula de mariposa (20º)	1,54	1	0,284	0,178	0,116	0,046
Válvula esférica (10º)	0,29	1	0,054	0,033	0,022	0,009
TOTAL			0,985	0,615	0,403	0,160

Pérdida de carga total (S/ Hazen-Williams)

Tubería nueva

ΔH_T	$\Delta H_g + \Delta H_e + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	98,3	90,4	86,2	82,0
Presión de servicio		bar.	10,0	9,2	8,8	8,4

Tubería en servicio

ΔH_T	$\Delta H_g + \Delta H_e + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	100,6	91,7	87,0	82,3
Presión de servicio		bar.	10,3	9,4	8,9	8,4

Pérdida de carga total (S/ Prandtl-Colebrook)

Tubería nueva

ΔH_T	$\Delta H_g + \Delta H_e + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	98,4	90,5	86,3	82,1
Presión de servicio		bar	10,0	9,2	8,8	8,4

Tubería en servicio

ΔH_T	$\Delta H_g + \Delta H_e + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	99,7	91,1	86,6	82,2
Presión de servicio		bar	10,2	9,3	8,8	8,4

Fundición K9				PVC-O PN16			
DN200	DN250	DN300	DN350	DN200	DN225	DN250	DN315
7,14	2,34	0,95	0,46	8,55	4,86	2,93	0,96
7,14	2,34	0,95	0,46	8,55	4,86	2,93	0,96
8,95	2,79	1,09	0,51	8,65	4,90	2,95	0,97
8,95	2,79	1,09	0,51	8,65	4,90	2,95	0,97
144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0
40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0
40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0

ΔH_{TL}

Pérdida de carga (m.c.a.)

0,042	0,017	0,008	0,004	0,052	0,032	0,021	0,008
0,064	0,026	0,012	0,007	0,078	0,049	0,032	0,013
0,105	0,042	0,020	0,011	0,128	0,080	0,053	0,021
0,085	0,034	0,016	0,009	0,103	0,065	0,042	0,017
0,130	0,052	0,025	0,014	0,159	0,099	0,065	0,026
0,025	0,010	0,005	0,003	0,030	0,019	0,012	0,005

0,451	0,181	0,086	0,047	0,550	0,344	0,226	0,089
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Pérdida de carga total (S/ Hazen-Williams)

89,1	83,0	81,2	80,6	89,1	85,1	83,1	81,0
------	------	------	------	------	------	------	------

9,1	8,5	8,3	8,2	9,1	8,7	8,5	8,3
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

94,6	84,8	82,0	81,0	90,2	85,8	83,5	81,1
------	------	------	------	------	------	------	------

9,7	8,7	8,4	8,3	9,2	8,8	8,5	8,3
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Pérdida de carga total (S/ Prandtl-Colebrook)

87,6	82,5	81,0	80,5	89,1	85,2	83,2	81,1
------	------	------	------	------	------	------	------

8,9	8,4	8,3	8,2	9,1	8,7	8,5	8,3
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

89,4	83,0	81,2	80,6	89,2	85,2	83,2	81,1
------	------	------	------	------	------	------	------

9,1	8,5	8,3	8,2	9,1	8,7	8,5	8,3
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

2.1.2.3.3. Conducción por bombeo

La conducción por bombeo es necesaria cuando se requiere adicionar energía para obtener el gasto de diseño. Este tipo de conducción se usa generalmente, cuando la elevación del agua en la fuente de abastecimiento es menor a la altura piezométrica requerida en el punto de entrega. El equipo de bombeo proporciona la energía necesaria para lograr el transporte del agua.

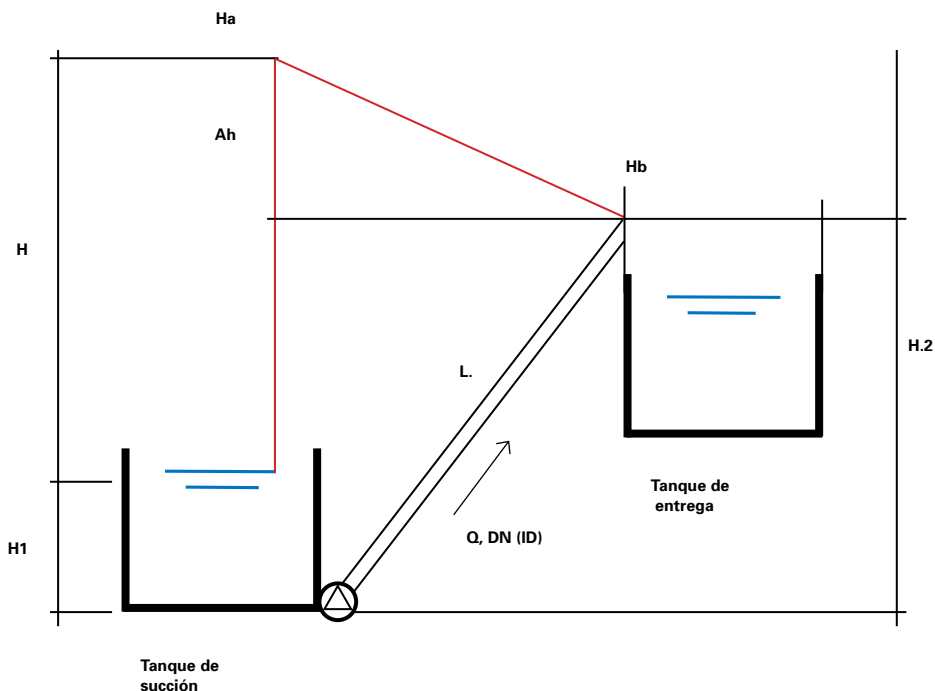
La información principal que se debe de conocer es el caudal de agua que queremos transportar, y en función de este valor, se determinará la solución económica más óptima en el proyecto. El resto de factores que entran en juego son: el diámetro de la tubería (ID), la velocidad de conducción, la pérdida de carga producida por esa velocidad, la presión en el punto de suministro y la potencia necesaria del grupo motobomba.

En el apartado 2.1.2.3.2 ha quedado explicado todo lo relativo a caudal (Q), coeficiente de pérdida de carga (J), pérdida de carga continua (ΔH_c) así como pérdidas de carga localizada (ΔH_{TL}). Dichos conceptos son igualmente aplicables en el caso de una conducción por bombeo:

$$\Delta H_T = \Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$$



Altura manométrica de la bomba ($\Delta H_T = H_m$)



CASO PRÁCTICO

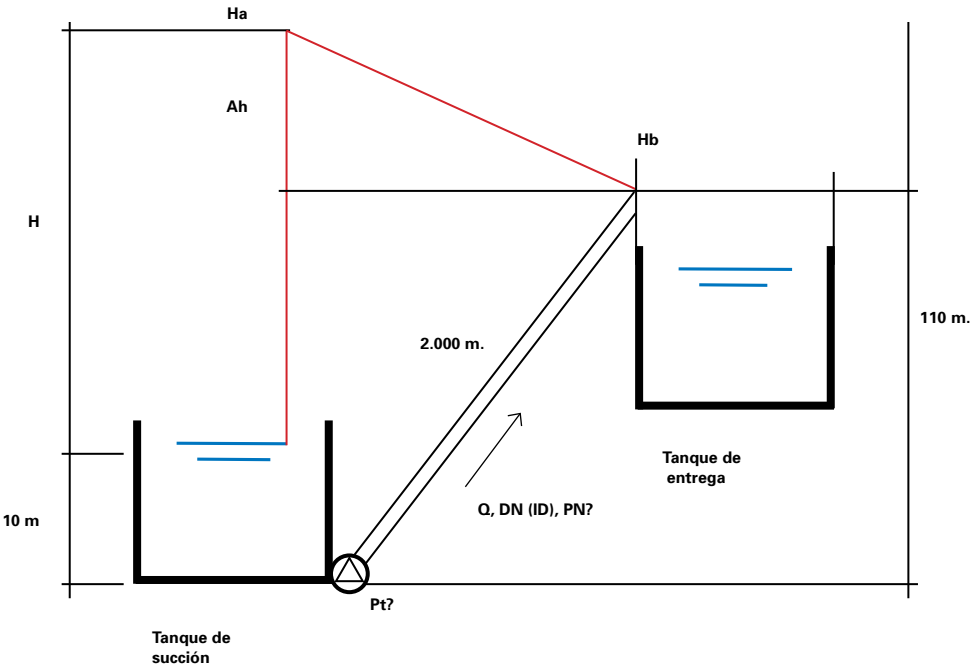
Se dispone de un tanque de succión situado a cota 90 m desde el que se desea enviar un caudal de 30 l/s a otro tanque situado a una cota de 200 m. Suponiendo que la lámina de agua del primero permanece constante a 10 m y la longitud de la conducción es de 2.000 m. Calcular el diámetro de tubería necesario, presión nominal y potencia requerida en la bomba situada a la salida del tanque de succión suponiendo que el rendimiento conjunto bomba-motor $\eta = 75\%$.

Datos de partida:

Accesorios	Nº
Entrada-Salida	1
Codos de 20º	5
Codos de 40º	4
Codos de 90º	8
Válvula de mariposa (20º)	2
Válvula esférica	1

Considerar las pérdidas de cargas localizadas de los siguientes elementos:

Datos de partida		
Longitud	m	2.000
Cota inferior	m	90
Cota superior	m	200
Caudal	m³/s	0,03
Caudal	m³/h	108,0
Caudal	l/s	30,0
Rendimiento motor-bomba	%	75



Diseño de la red • • •

Tubería			FD DN200 k9	PVC-O 200 PN16	PVC-O 225 PN16
D _i	Diámetro interior	mm	198,9	189,2	212,8
L	Longitud	m	2.000	2.000	2.000
Q	Caudal	l/s	30,0	30,0	30,0
v	Velocidad	m/s	0,97	1,07	0,84
v	Velocidad máxima	m/s	0,6	1,0	1,1
ΔH _g			110	110	110
ΔH _c					
Pérdida de carga (Hazen-Williams)					
C	Pérdida de carga (t.nueva)	-	130	150	150
C	C Hazen-Williams (t.servicio)	-	100	140	140
J	Pérdida de carga (t.nueva)	m/km	5,10	5,00	2,82
H _m	Pérdida de carga (t.nueva)	m.c.a.	10,21	9,99	5,6
J	Pérdida de carga (t.servicio)	m/km	8,30	5,68	3,20
ΔH _c	Pérdida de carga (t.servicio)	m.c.a.	16,59	11,35	6,40
Pérdida de carga (Prandtl-Colebrook)					
k	Rugosidad absoluta (t. servicio)	mm	0,200	0,007	0,007
v	Viscosidad cinemática	m ² /s	1,01E ⁻⁰⁶	1,01E ⁻⁰⁶	1,01E ⁻⁰⁶
J	Pérdida carga (t. nueva)	m/km	-	4,84	2,75
H _m	Pérdida carga (t. nueva)	m.c.a.	-	9,67	5,49
J	Pérdida carga (t. servicio)	m/km	5,04	4,89	2,77
H _m	Pérdida carga (t. servicio)	m.c.a.	10,08	9,78	5,54
ΔH _{TL}					
Accesorio	Valor de k _i	Cantidad	Pérdida de carga por accidente (m.c.a.)		
Entrada-Salida	0,500	1	0,024	0,029	0,018
Codos de 20º	0,380	5	0,090	0,110	0,069
Codos de 40º	0,620	4	0,118	0,144	0,090
Codos de 90º	1,000	8	0,381	0,465	0,290
Válvula de mariposa (20º)	1,540	2	0,146	0,179	0,112
Válvula esférica (10º)	0,290	1	0,014	0,017	0,011
TOTAL		m.c.a.	0,773	0,944	0,590

Tubería	FD DN200 k9	PVC-O 200 PN16	PVC-O 225 PN16
---------	-------------	----------------	----------------

Pérdida de carga total (S/ Hazen-Williams)

Tubería en servicio

H_m	$\Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	127,36	122,29	122,29
-------	---	--------	--------	--------	--------

H_b	Altura de bombeo	m.c.a.	127,0	122,0	117,0
-------	------------------	--------	-------	-------	-------

Pérdida de carga total (S/ Prandtl-Colebrook)

Tubería en servicio

H_m	$\Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	120,86	120,72	116,13
-------	---	--------	--------	--------	--------

H_b	Altura de bombeo	m.c.a.	121,0	121,0	116,0
-------	------------------	--------	-------	-------	-------

Potencia requerida de la bomba (S/ Hazen-Williams)

$$P_t = \gamma \cdot Q \cdot H_b / \eta \cdot 75$$

Tubería en servicio

P_t	Potencia requerida	CV	67,73	65,07	62,40
-------	--------------------	----	-------	-------	-------

Potencia requerida de la bomba (S/ Prandtl-Colebrook)

Tubería en servicio

P_t	Potencia requerida	CV	64,53	64,53	61,87
-------	--------------------	----	-------	-------	-------

2.1.2.4 Red de transporte de varios consumos

2.1.2.4.1 Criterios de dimensionamiento y clasificación

Una vez definidos los distintos componentes que forman parte de una red de distribución (ver apartado 1.5), se indican los criterios para un buen dimensionamiento de la misma:

- Velocidad apropiada , ya mencionada en el apartado 2.1.2.2
- Presión dentro de los rangos necesarios y que se podrá ver en el apartado 2.1.3. No obstante, diremos que hay que conocer la cota del depósito con respecto a la captación del agua, altura de lámina de agua, pérdida de carga de la tubería y los accesorios, cota de lámina de agua en captación y presión deseada en el punto de suministro.
- Y que satisfaga la demanda. El caudal de diseño de la red de distribución corresponde al consumo máximo horario (siendo este el producto del coeficiente punta horario por el caudal medio horario del día medio), al que hay que añadir el caudal necesario para las bocas de riego e hidrantes. Las conducciones que suministran agua a depósitos pueden dimensionarse para caudales menores al punta horario.

Clasificación de una red de transporte de varios consumos:

- Según su estructura en planta: redes ramificadas, malladas y mixtas.
- Según sus presiones límites: en un piso a nivel, en dos pisos y con impulsión. En grandes ciudades, o en aglomeraciones edificadas en laderas, son frecuentes las redes de distribución en dos o tres pisos debido a las diferencias de altimetría y a su incidencia en las presiones máximas.
- Según el número de redes: para consumo de habitantes, para usos industriales,...; se pueden realizar redes específicas para riego y limpieza viaria con agua residual regenerada, por ejemplo.

Todas estas redes, independientemente del tipo que sean, están constituidas por nudos y líneas:

- Los nudos se identifican con puntos determinados de la red que tienen un interés concreto por sus características, pudiendo tratarse puntos de consumo, puntos de entrada/salida de algún subsistema, o simplemente puntos de conexión de tuberías con otros elementos.
- Las líneas presentan a los elementos que disipan la energía del fluido (elementos pasivos) tales como tuberías, válvulas de regulación, etc. o aquellos elementos que comunican energía al fluido (elementos activos) como son las bombas elevadoras.

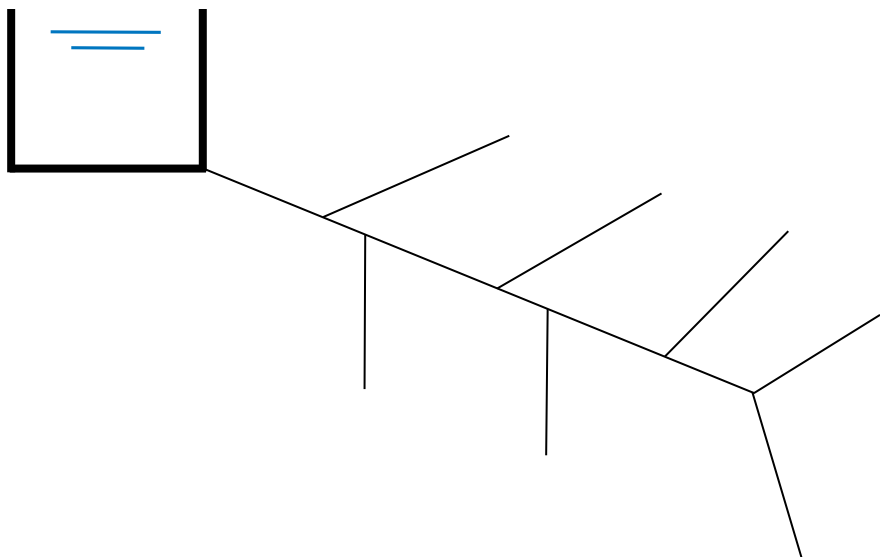
2.1.2.4.2 Red ramificada

En las redes ramificadas el agua circula por la red en un único sentido, este tipo de red recuerda a las ramas de un árbol, por lo que a veces se denomina red arbolada. El sistema ramificado consiste en una tubería principal de la que derivan otras tuberías, cada vez menores. En función del diámetro de los conductos se pueden clasificar en tramos primarios, secundarios, terciarios, etc. Cada punto de la red recibe agua por un solo lado y el cálculo de estas es más sencillo que las malladas. Por tanto, en el caso de averías en un conducto se deja sin servicio a los tramos que estén situados aguas abajo.

En pequeñas poblaciones es normal el uso de redes ramificadas porque en ellas suelen faltar caminos de enlace para los ramales extremos, además de resultar muy costoso.

Se suele recomendar la necesidad de limitar este tipo de redes a núcleos de menos de 1000 habitantes y configuración urbana lineal. Se recomienda también que la arteria principal tenga una longitud máxima de 1000 m.

con ramales no superiores a 300 m. La realidad impone dimensionamientos mayores, en tal caso, se debería de instalar accesorios especiales en los extremos, que permitan la limpieza de las conducciones.



CASO PRÁCTICO

Red de riego por gravedad abastecida por un depósito regulador con 5 m de lámina de agua máxima y que está previsto en la cota 650, la captación a dicho depósito se encuentra en la cota 550, y consiste en un pozo con una profundidad de nivel de agua de 15 m.

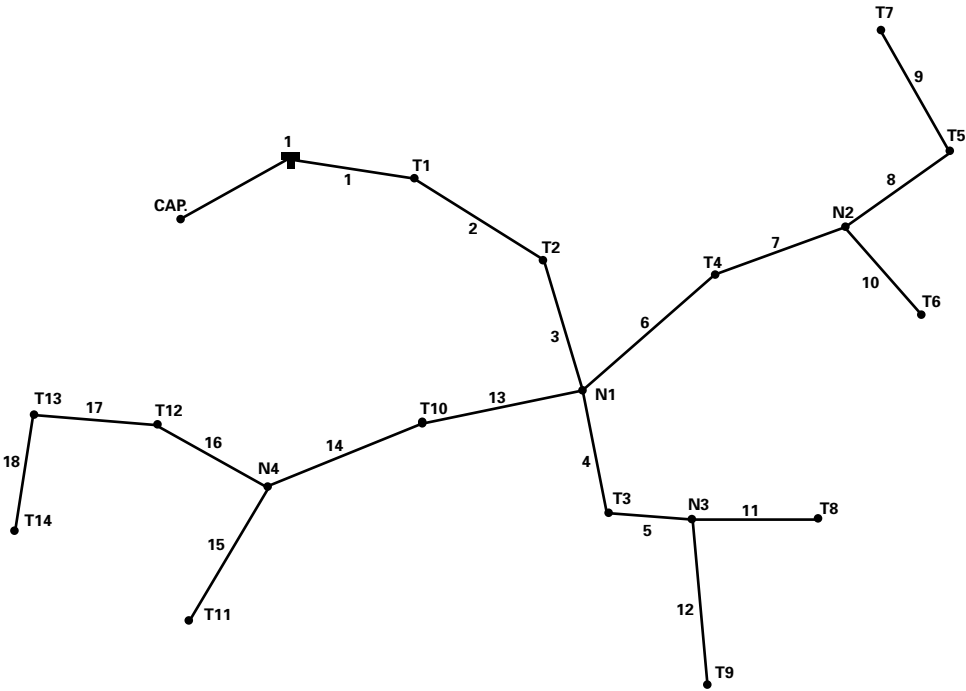
La carta de riego se detalla a continuación:

- 4 periodos de riego: S1, S2, S3, S4
- Tiempo total de riego: 8 horas
- Dos periodos de 2,66 horas cada uno y otros dos periodos de 1,33 horas cada uno
- 14 puntos de consumo

Se estima un caudal máximo en la red de 81 l/s.

Puntos de consumo (Tomas)	S1 (l/s) T= 2,666 H	S2 (l/s) T= 1,333 H	S3 (l/s) T= 1,333 H	S4 (l/s) T= 2,666 H
T1	12			
T2	17			
T3	12	12		
T4	7			
T5		7	7	7

Puntos de consumo (Tomas)	S1 (l/s)	S2 (l/s)	S3 (l/s)	S4 (l/s)
	T= 2,666 H	T= 1,333 H	T= 1,333 H	T= 2,666 H
T6		7	7	
T7			12	12
T8	12	12	12	12
T9			7	7
T10	12		12	12
T11			7	7
T12			7	7
T13			4	4
T14	6	6	6	6
Total	78	44	81	74



a) Dimensiones del depósito regulador.

El depósito será proyectado según el tiempo total de riego. Luego la capacidad del depósito será:

- $Q = 81 \text{ l/s}$
- Tiempo total de riego: 8 horas
- Capacidad del depósito = $81 \times 3.600 \times 8 = 2.332.800 \text{ litros } <> 2.332 \text{ m}^3$
- Capacidad del depósito proyectado = $25 \times 20 \times 5 = 2.500 \text{ m}^3$

b) Cálculo de la tubería de impulsión.

En primer lugar hay que calcular la altura geométrica, que es la diferencia de cotas entre la captación, la bomba en el interior del pozo y en el depósito regulador.

$$H_g = 650 - (550 - 15) = 115 \text{ m}$$

Al ser la altura geométrica 115 m, el timbraje de la tubería deberá ser de 16 kg/cm²

Respecto al diámetro de la tubería, se deberá utilizar aquel que dé una velocidad máxima del agua circulante en las tuberías no superior al valor obtenido mediante la fórmula de Mougny-Manning, que relaciona la velocidad v (m/s) con el diámetro interior ID (m) y con el coeficiente de rugosidad de Manning n :

$$v = 1,5 \cdot \frac{0,013}{n} \sqrt{(ID + 0,05)}$$

PVC-O PN16					
Diametro nominal (DN)	Diametro interior (ID)	V max. s/ Manning (m/s)	Q impulsión (l/s)	V calculada (m/s)	DN seleccionado
DN90	84,0	0,793	81,0	14,616	Diámetro pequeño
DN110	104,0	0,850	81,0	9,535	Diámetro pequeño
DN140	132,4	0,925	81,0	5,883	Diámetro pequeño
DN160	151,4	0,972	81,0	4,499	Diámetro pequeño
DN200	189,2	1,060	81,0	2,881	Diámetro pequeño
DN225	212,8	1,111	81,0	2,277	Diámetro pequeño
DN250	236,4	1,160	81,0	1,845	Diámetro pequeño
DN315	298,0	1,278	81,0	1,161	DN315
DN355	336,0	1,346	81,0	0,914	Diámetro sobredimensionado
DN400	378,4	1,418	81,0	0,720	Diámetro sobredimensionado
DN450	426,0	1,495	81,0	0,568	Diámetro sobredimensionado
DN500	472,8	1,567	81,0	0,461	Diámetro sobredimensionado
DN630	595,8	1,741	81,0	0,291	Diámetro sobredimensionado
DN800	757,8	1,947	81,0	0,180	Diámetro sobredimensionado

La tubería TOM® que se adecua a esta velocidad es la de diámetro 315 mm en 16 bar., siendo la velocidad de circulación para transportar el caudal necesaria de 1,161 m/s.

Para determinar las pérdidas de carga en la conducción y de los accesorios, se utilizan las expresiones de Hazen-Williams y Prandtl-Colebrook-White indicadas en el apartado 2.1.2.3.2.

Se hace la simulación con los siguientes accesorios: 1 codo de 11,25°, 4 codos de 22,5°, 5 codos de 45°, 3 codos de 90° y una válvula de diámetro 315.

Impulsión			
Q	Caudal destinado al riego	m³/h	291,6
Q	Caudal destinado al riego	l/s	81,0
L	Longitud	m	100,0
Ha	Cota de aspiración	m	550,0

Hi	Cota de impulsión	m	650,0
Hp	Profundidad nivel agua (pozo)	m	15,0
Hg	Altura geométrica	m	115,0

Tipo de tubería		PVC-O DN315 PN16	
Di	Diámetro interior	mm	298,0
v	Velocidad	m/s	1,16
n	Coeficiente de Manning	-	0,009
v	Velocidad max. (S/ Manning)	m/s	1,278

Pérdida de carga continua (calculada por Hazen-Williams)			
C	Coef. Hazen-Williams	-	140
J	Pérdida de carga	m/km	3,91
Ah	Pérdida de carga	m.c.a.	0,39

Pérdida de carga continua (calculada por Prandtl-Colebrook)			
k	Rugosidad absoluta (en servicio)	mm	0,007
v	Viscosidad cinemática	m²/s	1,31E-06
J	Pérdida de carga	m/km	3,47
Ah	Pérdida de carga	m.c.a.	0,35
Q	Caudal	m³/h	209,2
Q	Caudal	l/s	81,0

Pérdida de cargas localizadas			
Elementos de la conducción	Nº	K _c	h _c (m)
Entrada-Salida	1	0,72	0,05
Codos de 11,25°	1	0,23	0,02
Codos de 22,5°	4	0,42	0,12
Codos de 45°	5	0,67	0,23
Codos de 90°	3	1,00	0,21
Válvula Ø 315	2	1,56	0,21

Altura manométrica total (m.c.a.). H _g + A _n + h _c	116,2
Por Hazen-Williams.	

Altura manométrica total (m.c.a.). H _g + A _n + h _c	116,2
Por Prandtl-Colebrook.	

Luego, la potencia necesaria para la impulsión es :

$$P_t = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_b}{(\eta \cdot 75)}$$

γ = 1 kg/ dm³ (densidad del líquido)
 H_b = altura de bombeo = 116,2 m.c.a.
 η = rendimiento de la bomba = 0,6

$$P_t = \frac{1 \cdot 81 \cdot 116,2}{75 \cdot 0,6} = 209,2 \text{ CV}$$

La potencia del motor eléctrico, considerando un rendimiento del 90%, es:

$$P_t = \frac{209,2 \cdot 100}{90} = 232,4 \text{ CV}$$

c) Cálculo de la tubería de conducción por gravedad de la red.

Las cotas en cada punto de riego y nudos así como los caudales que circulan por los diferentes tramos en función de la carta de riego son los siguientes:

2

Puntos de riego	Cota (m)
T1	552
T2	545
T3	602
T4	575
T5	540
T6	610
T7	566
T8	584
T9	563
T10	607
T11	574
T12	575
T13	585
T14	582

Nudos	Cota (m)
N1	535
N2	613
N3	545
N4	550

			S1	S2	S3	S4
Tramo	Punto inicial	Punto final	l/s			
TM1	Depósito	T1	78	44	81	74
TM2	T1	T2	66	44	81	74
TM3	T2	N1	49	44	81	74
TM4	N1	T3	24	24	19	19
TM5	T3	N3	12	12	19	19
TM6	N1	T4	7	14	26	19
TM7	T4	N2	0	14	26	19
TM8	N2	T5	0	7	19	19
TM9	T5	T7	0	0	12	12
TM10	N2	T6	0	7	7	0
TM11	N3	T8	12	12	12	12
TM12	N3	T9	0	0	7	7
TM13	N1	T10	18	6	36	36
TM14	T10	N4	6	6	24	24
TM15	N4	T11	0	0	7	7
TM16	N4	T12	6	6	17	17
TM17	T12	T13	6	6	10	10
TM18	T13	T14	6	6	6	6

Diseño de la red • • •

d) Determinación del timbraje necesario.

La diferencia de cotas entre el depósito y el punto más bajo es: $650 - 535 = 115$ m, luego la presión estática es 115 m.c.a.

Así pues la tubería comercial TOM® a emplear será de 16 bar.

e) Cálculo de diámetro.

Para el cálculo de los diámetros, se utiliza el mismo criterio de velocidad según Manning que se ha utilizado para el cálculo de la tubería de impulsión. Se calcula la velocidad de cada tramo y tiempo de riego.

Tramo	Punto inicial	Punto final	DN	D int (mm)	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
					l/s				l/s			
TM1	Depósito	T1	DN315	298,0	78	44	81	74	1,12	0,63	1,16	1,06
TM2	T1	T2	DN315	298,0	66	44	81	74	0,95	0,63	1,16	1,06
TM3	T2	N1	DN315	298,0	49	44	81	74	0,70	0,63	1,16	1,06
TM4	N1	T3	DN200	189,2	24	24	19	19	0,85	0,85	0,68	0,68
TM5	T3	N3	DN160	151,4	12	12	19	19	0,67	0,67	1,06	1,06
TM6	N1	T4	DN200	189,2	7	14	26	19	0,25	0,50	0,92	0,68
TM7	T4	N2	DN200	189,2	0	14	26	19	0,00	0,50	0,92	0,68
TM8	N2	T5	DN160	151,4	0	7	19	19	0,00	0,39	1,06	1,06
TM9	T5	T7	DN160	151,4	0	0	12	12	0,00	0,00	0,67	0,67
TM10	N2	T6	DN110	104,0	0	7	7	0	0,00	0,82	0,82	0,00
TM11	N3	T8	DN140	132,4	12	12	12	12	0,87	0,87	0,87	0,87
TM12	N3	T9	DN110	104,0	0	0	7	7	0,00	0,00	0,82	0,82
TM13	N1	T10	DN225	212,8	18	6	36	36	0,51	0,17	1,01	1,01
TM14	T10	N4	DN200	189,2	6	6	24	24	0,21	0,21	0,85	0,85
TM15	N4	T11	DN110	104,0	0	0	7	7	0,00	0,00	0,82	0,82
TM16	N4	T12	DN160	151,4	6	6	17	17	0,33	0,33	0,94	0,94
TM17	T12	T13	DN140	132,4	6	6	10	10	0,44	0,44	0,73	0,73
TM18	T13	T14	DN110	104,0	6	6	6	6	0,71	0,71	0,71	0,71

Así pues, los diámetros elegidos son aquellos que den las velocidades máximas para cada uno de los cuatro tiempos de riego e inferior a las recomendaciones de Manning. En este caso se corresponde con el tiempo de riego nº 3 (S3) en color azul.

f) Presiones.

Las presiones en los diferentes puntos corresponden con la altura manométrica incrementada con las pérdidas de carga de la conducción y accidentes (ver fórmulas del apartado 2.1.2.3.2).

El número de accidentes considerados por tramo ha sido el siguiente:

Nº de accidentes							
	Entrada-Salida	Codos de 11,25º	Codos de 22,5º	Codos de 45º	Codos de 90º	Té	Válvula de compuerta abierta 1/2"
Kc	0,51	0,22	0,41	0,67	1,00	1,28	3,27
Tramo							
TM1	1		1	8	1		1
TM2						1	1
TM3				5		1	1
TM4							
TM5							1
TM6							
TM7				2			
TM8				1		1	
TM9			2	1			1
TM10			2	5			
TM11			2	3			1
TM12		1	2	9	2		
TM13				4	1		1
TM14					5		2
TM15					5		2
TM16					5		2
TM17					5		2
TM18					5		2

Los valores de pérdidas de carga son:

Pérdidas carga parciales accidentes									Per. carga acumulada accidentes
(m.c.a.)									(m.c.a.)
	Entrada-Salida	Codos de 11,25º	Codos de 22,5º	Codos de 45º	Codos de 90º	Té	Válvula de compuerta abierta 1/2"	TOTAL	TOTAL
Tramo									
TM1	0,035		0,028	0,368	0,069		0,225	0,725	0,900
TM2						0,088	0,225	0,313	1,213
TM3				0,230		0,088	0,225	0,543	1,756
TM4								0,000	1,756
TM5							0,186	0,186	1,941
TM6								0,000	2,115
TM7				0,058				0,058	2,173
TM8				0,038		0,102		0,140	2,313
TM9			0,019	0,015			0,074	0,108	2,421
TM10			0,028	0,116				0,144	2,317
TM11			0,032	0,078			0,127	0,236	2,178
TM12		0,008	0,028	0,209	0,069			0,314	2,255
TM13				0,140	0,052		0,171	0,363	2,119
TM14					0,069		0,243	0,312	2,430
TM15					0,173		0,226	0,399	2,830
TM16					0,227		0,297	0,524	2,955
TM17					0,134		0,176	0,310	3,265
TM18					0,127		0,166	0,293	3,559

Diseño de la red . . .

Por tanto, las presiones son las siguientes:

					Caudal	Velocidad	ΔH_g	Long.
Tramo	Punto inicial	Punto final	DN	D int (mm)	l/s	m/s	m	m
TM1	Depósito	T1	DN315	298,0	81	1,16	98,00	520,00
TM2	T1	T2	DN315	298,0	81	1,16	105,00	700,00
TM3	T2	N1	DN315	298,0	81	1,16	115,00	800,00
TM4	N1	T3	DN200	189,2	19	0,68	48,00	650,00
TM5	T3	N3	DN160	151,4	19	1,06	105,00	350,00
TM6	N1	T4	DN200	189,2	26	0,92	75,00	850,00
TM7	T4	N2	DN200	189,2	26	0,92	37,00	740,00
TM8	N2	T5	DN160	151,4	19	1,06	110,00	680,00
TM9	T5	T7	DN160	151,4	12	0,67	84,00	790,00
TM10	N2	T6	DN110	104,0	7	0,82	40,00	600,00
TM11	N3	T8	DN140	132,4	12	0,87	66,00	700,00
TM12	N3	T9	DN110	104,0	7	0,82	87,00	900,00
TM13	N1	T10	DN225	212,8	36	1,01	43,00	690,00
TM14	T10	N4	DN200	189,2	24	0,85	100,00	750,00
TM15	N4	T11	DN110	104,0	7	0,82	76,00	700,00
TM16	N4	T12	DN160	151,4	17	0,94	75,00	500,00
TM17	T12	T13	DN140	132,4	10	0,73	65,00	600,00
TM18	T13	T14	DN110	104,0	6	0,71	68,00	500,00



Per. carga unit.	Per. carga parcial tramo	Per. carga acumulada tramo	Per. carga acumulada accidentes	Per. Carga TOTAL	Presión final tramo
m/km	m.c.a.	m.c.a.	m.c.a.	m.c.a.	kg/cm ²
3,91	2,03	2,03	0,90	2,93	10,09
3,91	2,74	4,77	1,21	5,98	11,10
3,91	3,13	7,89	1,76	9,65	12,46
2,44	1,58	9,48	1,76	11,23	5,92
7,21	2,52	12,00	1,94	13,94	11,89
4,35	3,70	11,60	2,11	13,71	8,87
4,35	3,22	14,82	2,17	16,99	5,40
7,21	4,91	19,72	2,31	22,04	13,20
3,08	2,43	22,16	2,42	24,58	10,86
7,07	4,24	19,06	2,32	21,38	6,14
5,92	4,14	16,15	2,18	18,32	8,43
7,07	6,36	18,37	2,26	20,62	10,76
4,49	3,10	10,99	2,12	13,11	5,61
3,75	2,82	13,81	2,43	16,24	11,62
7,07	4,95	18,76	2,83	21,59	9,76
5,87	2,94	16,74	2,95	19,70	9,47
4,22	2,53	19,28	3,27	22,54	8,75
5,31	2,66	21,93	3,56	25,49	9,35



g) Cálculo de la red de riego.

Si tenemos un total de 14 puntos de riego con una longitud de la red es 12.020 m, y siendo el consumo máximo utilizado de 8 h al día. Se podría calcular el consumo medio unitario por metro lineal de tubería de la siguiente forma:

$$Q = \frac{NT \cdot D}{L \cdot t}$$

- NT : Número de puntos de riego
- D : Dotación, en litros por toma de riego y segundo. En nuestro caso consideraremos la dotación media del periodo S3 = 28 l/toma-s
- L : Longitud de la red, en m
- t : Tiempo de consumo máximo, h
- Q : Consumo medio unitario por metro de tubería, en l/m

$$Q = \frac{14 \cdot 28 \cdot 3600}{12020 \cdot 8} = 14,68 \text{ l/m}$$

Luego, si se realiza el cálculo para la red de riego más exhaustiva sería de la siguiente manera.

			Long.	Consumo medio unitario	Consumo en tramo	Caudal de circulación en S3	Caudal total
Tramo	Punto inicial	Punto final	m	l/m	l	l/s	
TM1	Depósito	T1	520	14,68	7631,28	81	82,59
TM2	T1	T2	700	14,68	10272,88	81	83,14
TM3	T2	N1	800	14,68	11740,43	81	83,45
TM4	N1	T3	650	14,68	9539,10	19	20,99
TM5	T3	N3	350	14,68	5136,44	19	20,07
TM6	N1	T4	850	14,68	12474,21	26	28,60
TM7	T4	N2	740	14,68	10859,90	26	28,26
TM8	N2	T5	680	14,68	9979,37	19	21,08
TM9	T5	T7	790	14,68	11593,68	12	14,42
TM10	N2	T6	600	14,68	8805,32	7	8,83
TM11	N3	T8	700	14,68	10272,88	12	14,14
TM12	N3	T9	900	14,68	13207,99	7	9,75
TM13	N1	T10	690	14,68	10126,12	36	38,11
TM14	T10	N4	750	14,68	11006,66	24	26,29
TM15	N4	T11	700	14,68	10272,88	7	9,14
TM16	N4	T12	500	14,68	7337,77	17	18,53
TM17	T12	T13	600	14,68	8805,32	10	11,83
TM18	T13	T14	500	14,68	7337,77	6	7,53

Caudal total = Caudal de circulación en S3 + (Consumo en tramo / (1,333 * 3600)) l/s

*1,333 h es el tiempo de funcionamiento del sector S3

2.1.2.4.3 Red mallada

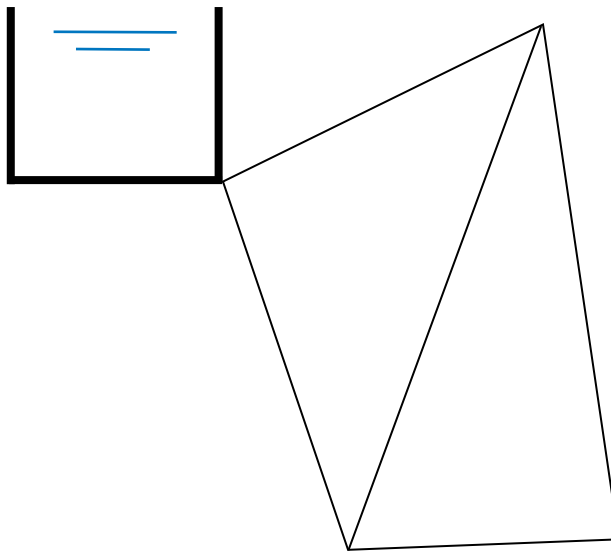
Su disposición en planta tiene forma de malla, el agua puede circular en cualquier sentido de los conductos y cada punto de la red puede ser alimentado por varios caminos hidráulicos. Al contrario de lo que sucedía con las redes ramificadas, una avería en un tubo, no implica dejar sin servicio otras partes del sistema, ya que es posible modificar los sentidos de circulación mediante el accionamiento de válvulas.

2

Entre las ventajas de las redes malladas figuran las siguientes:

- Son de interés cuando existen hidrantes de incendios, ya que sus demandas y exigencias son muy elevadas, y se puede asegurar un mayor suministro.
- Permiten aislar sectores pequeños de red, pudiendo realizarse labores de mejoras y reparaciones sin grandes repercusiones sobre el conjunto de la red.
- Permiten un reparto más equilibrado y uniforme de las presiones.

La creación de una red mallada puede estar condicionada por la situación de los depósitos. En núcleos en los que exista más de un depósito se puede formar una red mallada de forma casi automática.



En las distribuciones en mallas cerradas se deben de cumplir una serie de leyes para circuitos cerrados y que son las mismas que para circuitos eléctricos, estas son:

- 1ª Ley de Kirchoff o ley de nodos: en todo vértice o punto de encuentro de conductores, la suma de las corrientes que a él llegan es igual a la suma de las que de él parten, es decir, la suma algebraica de todas las corrientes es igual a 0.

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

- 2ª Ley de Kirchoff o ley de mallas de Kirchoff: en toda malla de red, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es igual a la todas las caídas de tensión.

$$\sum_{k=1}^n V_k = 0$$

Luego, desde el punto de vista hidráulico podríamos decir:

- La suma algebraica de los caudales entrantes y salientes en un nudo es nula.

$$\sum_{k=1}^n Q_k = 0$$

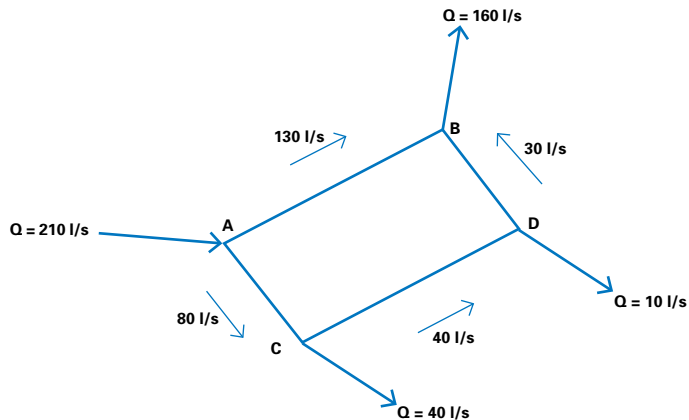
- La suma algebraica de las pérdidas de carga en un circuito cerrado es nula.

$$\sum_{k=1}^n J_k = \sum_{k=1}^n j_k \cdot L_k = 0$$

Por tanto, para una red mallada se definirán una serie de caudales que cumplan con la primera ley de nodos, de tal forma que los caudales adquirirán valores positivos siguiendo la rotación según las agujas del reloj, y negativos, para los caudales que circulen en sentido de rotación contrario. Se procederá igualmente con la segunda ley de mallas.

CASO PRÁCTICO nº1

Dada la siguiente red de distribución de una sola malla, en la cual se han definido unos consumos y fijados unos diámetros en tubería PVC-O TOM® con una presión nominal de 16 bar:



Por tanto, se deberá de cumplir la primera ley fijando los caudales y se hallará la suma algebraica de pérdidas a lo largo de la malla:

$$\sum_{k=1}^n J_k = \sum_{k=1}^n j_k \cdot L_k$$

Donde:

J_k : Pérdida de carga total de un tramo.

j_k : Pérdida de carga unitaria del tramo.

L_k : Longitud del tramo correspondiente.

Y se introducirá la corrección en el caudal a partir de la fórmula siguiente:

$$\Delta Q = - \frac{\sum_k^n j_k}{2 \cdot \sum_k^n j_k / Q_k}$$

Se hará por tanto el 1^{er} cálculo:

Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	Di (mm)	Sección (m²)	L (m)	Q (l/s)	V (m/s)	j (m/km)	J (m.c.a.)	J/Q
+	A-B	315/16	298,0	0,070	720,0	130,0	1,864	9,385	6,757	0,052
-	A-C	250/16	236,4	0,044	250,0	80,0	1,823	11,798	-2,949	0,037
-	D-B	200/16	189,2	0,028	290,0	30,0	1,067	5,676	-1,646	0,055
-	C-D	160/16	151,4	0,018	680,0	40,0	2,222	28,637	-19,473	0,487
									-17,312	0,631

Se comprueba que:

$$\sum_{k=1}^n J_k \neq 0$$

Luego se determina la 1ª corrección para este primer cálculo:

$$\Delta Q = - \frac{-17,312}{2 \cdot 0,631} = 13,72 \text{ l/s}$$

Obteniéndose los siguientes valores:

Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	Di (mm)	Sección (m²)	L (m)	Q (l/s)	V (m/s)	j (m/km)	J (m.c.a.)	J/Q
+	A-B	315/16	298,0	0,070	720,0	143,7	2,061	11,302	8,138	0,057
-	A-C	250/16	236,4	0,044	250,0	66,3	1,510	8,325	-2,081	0,031
-	D-B	200/16	189,2	0,028	290,0	16,3	0,579	1,828	-0,530	0,033
-	C-D	160/16	151,4	0,018	680,0	26,3	1,459	13,147	-8,940	0,340
									-3,414	0,461

Se comprueba que:

$$\sum_{k=1}^n J_k \neq 0$$

Luego se determina la segunda corrección para este segundo cálculo:

$$\Delta Q = - \frac{-3,414}{2 \cdot 0,461} = 3,70 \text{ l/s}$$

Valores después de la 2ª corrección:

Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	Di (mm)	Sección (m²)	L (m)	Q (l/s)	V (m/s)	j (m/km)	J (m.c.a.)	J/Q
+	A-B	315/16	298,0	0,070	720,0	147,4	2,114	11,848	8,530	0,058
-	A-C	250/16	236,4	0,044	250,0	62,6	1,426	7,484	-1,871	0,030
-	D-B	200/16	189,2	0,028	290,0	12,6	0,447	1,133	-0,329	0,026
-	C-D	160/16	151,4	0,018	680,0	22,6	1,254	9,922	-6,747	0,299
									-0,417	0,413

Se comprueba que:

$$\sum_{k=1}^n J_k \neq 0$$

Luego se determina la tercera corrección para este tercer cálculo:

$$\Delta Q = - \frac{-0,417}{2 \cdot 0,413} = 0,50 \text{ l/s}$$

Valores después de la 3ª corrección:

Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	Di (mm)	Sección (m²)	L (m)	Q (l/s)	V (m/s)	j (m/km)	J (m.c.a.)	J/Q
+	A-B	315/16	298,0	0,070	720,0	147,9	2,121	11,923	8,584	0,058
-	A-C	250/16	236,4	0,044	250,0	62,1	1,414	7,373	-1,843	0,030
-	D-B	200/16	189,2	0,028	290,0	12,1	0,429	1,050	-0,305	0,025
-	C-D	160/16	151,4	0,018	680,0	22,1	1,226	9,516	-6,471	0,293
									-0,034	0,406

Se comprueba que se cumple la segunda condición de las redes en malla:

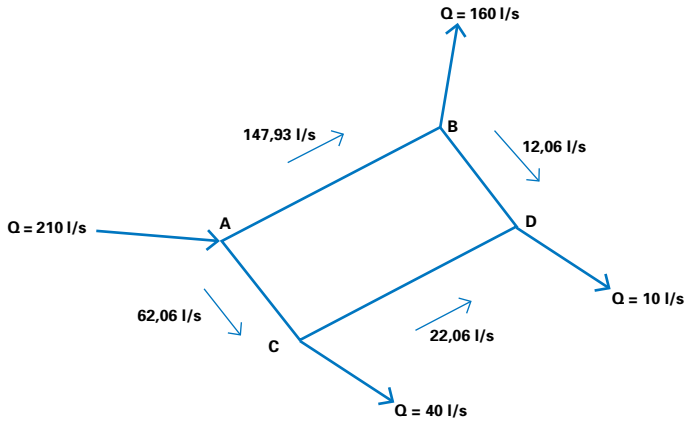
$$\sum_{k=1}^n J_k \approx 0$$

$$\Delta Q = - \frac{0,034}{2 \cdot 0,813} = 0,4 \text{ l/s (valor aceptable)}$$

Y el cumplimiento igualmente de la primera condición:

Nudo A: $210 - 147,9 - 62,1 = 0$
Nudo B: $147,9 + 12,1 - 160 = 0$
Nudo C: $22,1 + 40 - 62,1 = 0$
Nudo D: $10 + 12,1 - 22,1 = 0$

Los valores finales tras esta tercera corrección, dan como resultado la siguiente red mallada:



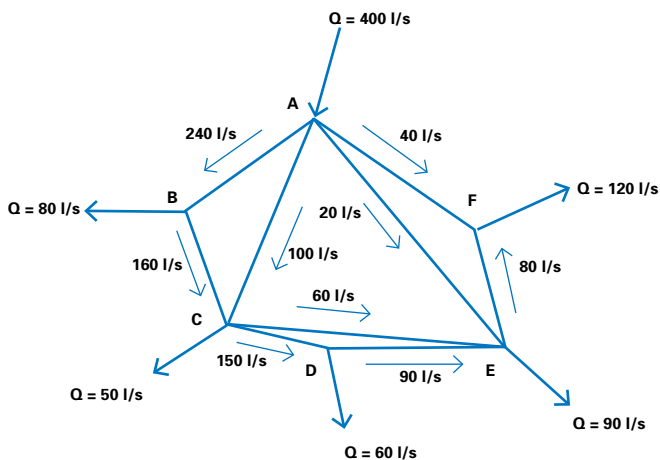
CASO PRÁCTICO nº2

Dada la siguiente red de distribución con más de una malla, igualmente, se han definido unos consumos, fijando unos diámetros en tubería PVC-O TOM® con una presión nominal de 16 bar.

Al igual que en el caso práctico nº1, y para su correcto dimensionamiento, se considerará los requisitos establecidos para las redes cerradas en mallas: la suma algebraica de los caudales entrantes y salientes en un nudo deberán de ser nula y la suma algebraica de las pérdidas de carga producidas también deberán de ser nula.

En nuestro caso vamos a considerar estas mallas y haremos las correcciones de estas por separado:

- Malla ABCDEFA
- Malla ACEA



Haremos para ambas mallas el 1er cálculo:

Malla ABCDEFA										
Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	Di (mm)	Sección (m²)	L (m)	Q (l/s)	V (m/s)	j (m/km)	J (m.c.a.)	J/Q
-	A-B	500/16	472,8	0,176	1200,0	240,0	1,367	3,084	-3,701	0,015
-	B-C	400/16	378,4	0,112	1000,0	160,0	1,423	4,307	-4,307	0,027
-	C-D	400/16	378,4	0,112	800,0	150,0	1,334	3,821	-3,057	0,020
-	D-E	315/16	298,0	0,070	1200,0	90,0	1,290	4,750	-5,700	0,063
-	E-F	315/16	298,0	0,070	900,0	80,0	1,147	3,819	-3,437	0,043
+	F-A	225/16	212,8	0,036	1300,0	40,0	1,125	5,455	7,091	0,177
									-13,110	0,346

Malla ACEA										
Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	Di (mm)	Sección (m²)	L (m)	Q (l/s)	V (m/s)	j (m/km)	J (m.c.a.)	J/Q
-	A-C	315/16	298,0	0,070	1300,0	100,0	1,434	5,773	-7,505	0,075
-	C-E	250/16	236,4	0,044	1100,0	60,0	1,367	6,925	-7,617	0,127
+	E-A	160/16	151,4	0,018	1400,0	20,0	1,111	7,933	11,106	0,555
									-4,016	0,757

Se comprueba que para ambas mallas:

$$\sum_{k=1}^n J_k \neq 0$$

Luego se determina la primera corrección para este primer cálculo:

$$\Delta Q_1 = \frac{-13,110}{2 \cdot 0,346} = 18,92 \text{ l/s}$$
$$\Delta Q_2 = \frac{-4,016}{2 \cdot 0,757} = 2,65 \text{ l/s}$$

Valores después de la 1ª corrección:

Malla ABCDEFA										
Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	Di (mm)	Sección (m²)	L (m.)	Q (l/s)	V (m/s)	j (m/km)	J (m.c.a.)	J/Q
-	A-B	500/16	472,8	0,176	1200,0	221,1	1,259	2,649	-3,178	0,014
-	B-C	400/16	378,4	0,112	1000,0	141,1	1,254	3,411	-3,411	0,024
-	C-D	400/16	378,4	0,112	800,0	131,1	1,166	2,977	-2,381	0,018
-	D-E	315/16	298,0	0,070	1200,0	71,1	1,019	3,067	-3,681	0,052
-	E-F	315/16	298,0	0,070	900,0	61,1	0,876	2,316	-2,085	0,034
+	F-A	225/16	212,8	0,036	1300,0	58,9	1,657	11,179	14,533	0,247
									-0,203	0,389

Malla ACEA										
Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	Di (mm)	Sección (m²)	L (m.)	Q (l/s)	V (m/s)	j (m/km)	J (m.c.a.)	J/Q
-	A-C	315/16	298,0	0,070	1300,0	97,3	1,396	5,493	-7,141	0,073
-	C-E	250/16	236,4	0,044	1100,0	57,3	1,307	6,369	-7,006	0,122
+	E-A	160/16	151,4	0,018	1400,0	22,7	1,258	9,990	13,986	0,617
									-0,160	0,813

Comprobamos que para ambas mallas:

$$\sum_{k=1}^n J_k \neq 0$$

Luego determinamos la segunda corrección para segundo cálculo:

$$\Delta Q_1 = \frac{-0,203}{2 \cdot 0,389} = 0,26 \text{ l/s}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{-0,16}{2 \cdot 0,813} = 0,10 \text{ l/s}$$

Valores después de la 2ª corrección:

Malla ABCDEFA										
Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	Di (mm)	Sección (m²)	L (m)	Q (l/s)	V (m/s)	j (m/km)	J (m.c.a.)	J/Q
-	A-B	500/16	472,8	0,176	1200,0	220,8	1,258	2,643	-3,178	0,014
-	B-C	400/16	378,4	0,112	1000,0	140,8	1,252	3,399	-3,399	0,024
-	C-D	400/16	378,4	0,112	800,0	130,8	1,163	2,966	-2,373	0,018
-	D-E	315/16	298,0	0,070	1200,0	70,8	1,015	3,046	-3,656	0,052
-	E-F	315/16	298,0	0,070	900,0	60,8	0,872	2,298	-2,068	0,034
+	F-A	225/16	212,8	0,036	1300,0	59,2	1,664	11,271	14,652	0,248
									-0,015	0,390

Malla ACEA										
Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	Di (mm)	Sección (m²)	L (m)	Q (l/s)	V (m/s)	j (m/km)	J (m.c.a.)	J/Q
-	A-C	315/16	298,0	0,070	1300,0	97,2	1,394	5,482	-7,127	0,073
-	C-E	250/16	236,4	0,044	1100,0	57,2	1,304	6,349	-6,983	0,122
+	E-A	160/16	151,4	0,018	1400,0	22,8	1,264	10,071	14,099	0,620
									-0,012	0,815

Comprobamos que se cumple la segunda condición de redes para ambas mallas:

$$\sum_{k=1}^n J_k \neq 0$$

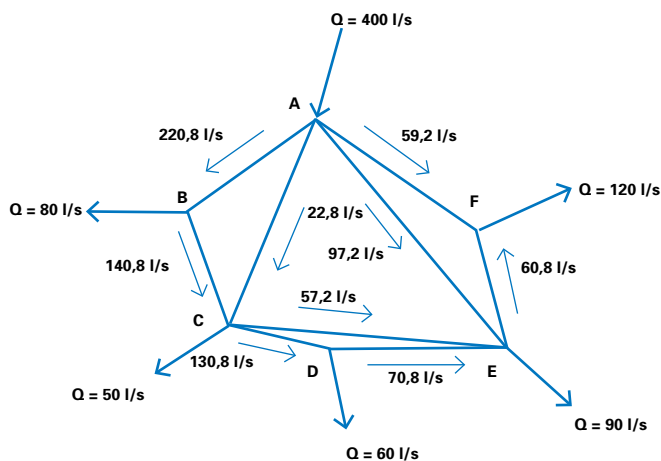
$$\Delta Q_1 = \frac{-0,015}{2 \cdot 0,390} = 0,02 \text{ l/s}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{-0,012}{2 \cdot 0,815} = 0,01 \text{ l/s}$$

Y el cumplimiento igualmente de la primera condición:

$$\begin{aligned} \text{Nudo A: } & 400 - 220,8 - 59,2 - 97,2 - 22,8 = 0 \\ \text{Nudo B: } & 220,8 - 80 - 140,8 = 0 \\ \text{Nudo C: } & 97,2 + 140,8 - 50 - 57,2 - 130,8 = 0 \\ \text{Nudo D: } & 130,8 - 60 - 70,8 = 0 \\ \text{Nudo E: } & 57,2 + 22,8 + 70,8 - 90 - 60,8 = 0 \\ \text{Nudo F: } & 59,2 + 60,8 - 120 = 0 \end{aligned}$$

Se adopta por tanto los valores de caudales finales tras esta segunda corrección. Dando como resultado la siguiente red mallada:



2.1.3 Selección de la presión nominal

2.1.3.1 Definiciones

Es preciso distinguir entre las presiones hidráulicas que se solicitan a la tubería o la red y las presiones que cada componente es capaz de resistir individualmente.

1. Presiones hidráulicas que se solicitan a la tubería o la red.

- Presión estática. Es la presión en una sección de la tubería cuando, estando en carga, se encuentra el agua en reposo.
- Presión de diseño (DP). Presión máxima de funcionamiento, en régimen permanente, de la red o de la zona de presión en una sección de la tubería, excluyendo el golpe de ariete. Habría que precisar lo siguiente:

Tubería por impulsión: Presión de funcionamiento = Presión de diseño > Presión estática.

Tubería por gravedad: Presión de funcionamiento < Presión estática = Presión de diseño.

- Presión máxima de diseño (MDP). Presión máxima de funcionamiento, en régimen permanente, de la red o de la zona de presión, que puede alcanzarse en una sección de la tubería en servicio, considerando las fluctuaciones producidas por un posible golpe de ariete. Esta presión máxima de diseño es para la que realmente se diseña la tubería:

- MDP se designa MDPa, cuando se fije previamente el golpe de ariete admitido.

- MDP se designa MDPc, cuando el golpe de ariete se calcule.

- Presión de prueba de la red (STP). Presión hidrostática aplicada a una conducción recientemente instalada de forma que se asegure su integridad y estanquidad.
- Presión de funcionamiento (OP). Presión interna que aparece en un instante dado en un punto determinado de la red de abastecimiento de agua.

- Presión de servicio (SP). Presión interna en el punto de conexión a la instalación del consumidor, con caudal nulo en la acometida.

2. Presiones relativas a los componentes.

- Presión nominal (PN). Valor numérico de una serie convencional que se adopta, a efectos de referencia, para caracterizar los tubos, las piezas especiales y los demás elementos de la tubería en relación con la presión hidráulica interior (kp/cm²) que son capaces de resistir en ausencia de cargas externas. A igualdad de DN, las características geométricas de los elementos de unión (bridas y otros) de una misma serie de PN serán tales, que permitan la conexión entre ellos.

La relación entre los valores de la PN y de la presión hidráulica interior depende de:

- Tipo de material.
- Temperatura.
- Concepción del elemento de que se trate (utilización a corto o largo plazo).
- Coeficiente de seguridad aplicado.

En resumen, se puede decir, que la PN es la presión que dicho elemento es capaz de aguantar en servicio sin considerar el golpe de ariete (presión de diseño, DP) y en ausencia de cargas externas.

La norma ISO 16422:2014 "Tubos y uniones de polí(cloruro de vinilo) orientado (PVC-O) para conducción de agua a presión. Especificaciones" define cuatro posibles presiones nominales para la tubería PVC-O Clase 500 y coeficiente de diseño 1,4:

PN: 12,5, 16, 20, y 25 (kp/cm²)

- Presión de funcionamiento admisible (PFA). Presión hidrostática máxima que un componente es capaz de soportar de forma permanente en servicio.
- Presión de prueba en obra admisible (PEA). Presión hidrostática máxima que un componente recién instalado en obra es capaz de soportar, durante un período de tiempo relativamente corto, con objeto de asegurar la integridad y la estanquidad de la conducción.
- Presión de rotura (P_r). Presión hidrostática interior que, en ausencia de cargas externas, deja fuera de servicio al material constitutivo de la tubería. En los tubos de material homogéneo, esta presión se relaciona con la presión mínima a la tracción (R_m) del material, mediante la expresión:

$$P_r = \frac{2e}{ID} R_m$$

P_r: presión de rotura, en N/mm²

e : espesor de la pared del tubo, en mm.

ID: diámetro interior, en mm.

R_m: resistencia mínima a la tracción del material, en kp/cm²

En los tubos de PVC-O TOM®, se corresponde, aproximadamente, con el concepto de LCL (tensión que a 20 °C y a 50 años resiste el material con un nivel de confianza no menor del 97,5%).

2.1.3.2. Perfil de la red

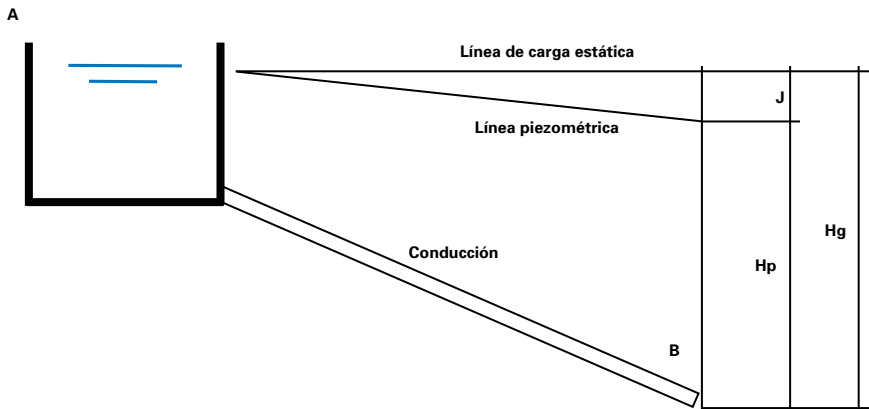
En cualquier tipo de instalación de tubería para la conducción de agua a presión, y en cualquier punto de la misma, se produce una presión estática cuando no hay circulación del fluido y una presión dinámica o piezométrica cuando existe circulación. Luego se podría decir, que la altura piezométrica (o presión) será mayor o menor que la presión estática, según sea la conducción por gravedad o por impulsión.


 $\Delta H_g (H_{\text{geométrica}})$

Tal y como se ha explicado en el apartado 2.1.2.3.2 conducción por gravedad y en el apartado 2.1.2.3.3 conducción por bombeo, los perfiles de ambos tipos de red podrían ser los siguientes:

Conducción por gravedad.

- H_g : altura geométrica, equivalente a la diferencia de cotas entre los puntos A y B, y que determina la presión estática en el punto B.
- J: pérdida de carga, producida por los rozamientos de las partículas de agua con las paredes de la tubería. Esta puede adquirir como valor máximo H_g , y es cuando la salida de la tubería es libre, luego la pérdida de carga = pendiente del perfil de red.

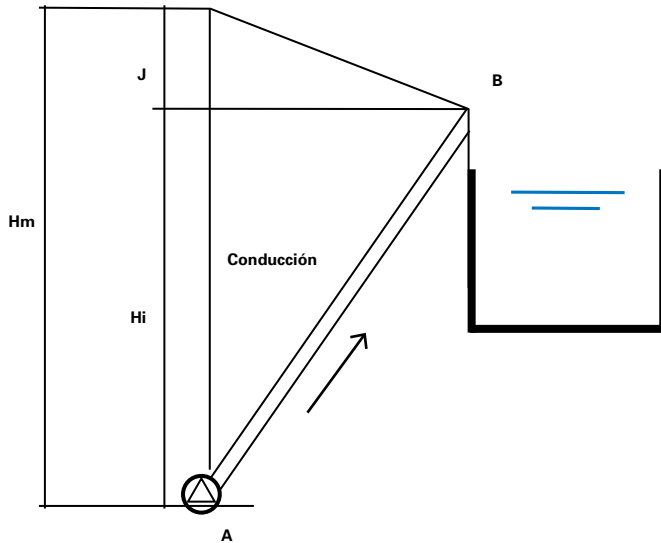


Conducción por bombeo.

En este caso la altura piezométrica o presión será mayor que la presión estática.

- A : equipo de bombeo.
- B: depósito receptor.
- H_i : altura de impulsión.
- J: pérdida de carga, producida por los rozamientos de las partículas de agua con las paredes de la tubería y que deben de ser vencidos por el equipo de bombeo.

- H_m : altura manométrica. Es la presión que debe de aportar el grupo de bombeo para vencer la resistencia ofrecida por el agua debida a la altura de impulsión más las pérdidas de carga.



2.1.3.3. Efecto del aire en las redes

A la hora de diseñar una tubería de un sistema de distribución de agua por gravedad se supone generalmente que el flujo de agua llenará la tubería. En ese caso, el caudal en la tubería esta controlado por la carga disponible, la longitud, el diámetro, el coeficiente de fricción de la tubería y las pérdidas singulares ya mencionadas en apartados anteriores. Si por alguna razón la tubería no esta completamente llena de agua, la relación entre la carga disponible y el caudal será muy diferente. Esto se produce en los siguientes casos:

- cuando se abre paso al agua por primera vez en una instalación nueva con las tuberías vacías o parcialmente llenas.
- si hay cavitación (demasiada aspiración implicando vaporización del agua) en algún punto del circuito.
- si la tubería está alimentada por una fuente a través de una caja de acopio y que su producción es menor que aquella por la cual fue diseñado el sistema.

Por tanto, es necesario eliminar el aire ya que su presencia hace aumentar la carga necesaria para lograr un caudal determinado. De hecho, el aire puede actuar como una obstrucción de modo que no haya agua alguna que salga por la boca de salida de la tubería.

El aire puede eliminarse haciendo uso de **Ventosas**, que son elementos diseñados para extraer e introducir aire en conducciones, que previenen las roturas de tuberías y que permiten el buen funcionamiento de la red.

Las ventosas, al eliminar el aire de las tuberías hacen que el fluido pase por toda la sección de la misma, con lo que la velocidad de paso es menor, reduciendo los golpes de ariete en la red y mejorando el abastecimiento de las zonas más desfavorecidas debido a una pérdida de carga menor.

En el caso de impulsiones, el efecto de las ventosas es fundamental debido a que permiten el ingreso de una gran masa de aire en la parada de bombas (si la onda del golpe de ariete es mayor que la presión estática), las ventosas eliminan el aire controladamente eliminando en gran parte el golpe de ariete.

Operacionalmente la ventosa garantiza la manutención de las redes y su eficiencia, facilitando además de su llenado y vaciado, los efectos adversos de los transitorios como vibraciones o reducciones de capacidad de transporte.

Emplazamiento de ventosas.

Una parte importante previa al dimensionamiento de las ventosas es su emplazamiento, ya que si no es el correcto, de poco sirve utilizar ventosas de alta calidad.

Las ventosas se deben colocar en:

- Puntos Elevados
- Reducción de pendientes descendentes. Colocar una ventosa cada 600 metros como máximo en tramos largos descendentes
- Aumento de pendientes ascendentes. Colocar una ventosa cada 400-800 metros como máximo en tramos largos ascendentes
- En tramos horizontales, colocar una ventosa cada 500 metros
- Para sifones, colocar aguas arriba de la válvula de retención
- Descarga de una bomba
- Junto a la válvula principal

Se hará una distinción entre ventosas monofuncionales y trifuncionales.

Las ventosas monofuncionales funcionan sólo cuando la tubería está en presión, eliminando las burbujas de aire que puedan existir en la red. Este tipo de ventosas son muy importante para evitar acumulación de aire, y por tanto la pérdida de carga por disminución del diámetro útil de la válvula. También es importante, porque frente a un aumento de caudal o presión, evita que haya bolsas de aire que se muevan y generen roturas debido al movimiento de las mismas. Este tipo de ventosas funcionan gracias a que tienen un pequeño orificio que es tapado por un flotador, al acumularse aire el peso del flotador se iguala a la presión generada por el pequeño orificio (1 a 5 mm) y cae dejando escapar aire, esto hace que nunca sean necesarias ventosas monofuncionales con conexión brida mayores que DN50.

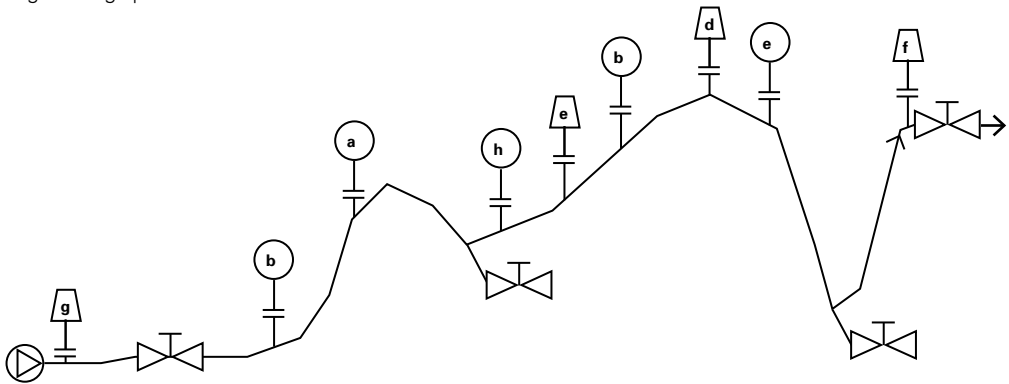
Las ventosas trifuncionales aparte de tener la funcionalidad de una ventosa monofuncional, dejan entrar y salir aire en grandes cantidades cuando la tubería se está vaciando o llenando respectivamente. Este tipo de ventosa, es importante para evitar que la tubería entre en vacío y colapse, y porque disminuye los golpes de ariete producidos por paradas de bombas. También facilita las operaciones de llenado y vaciado de la tubería. El diseño de funcionamiento incorpora una ventosa monofuncional y además de un flotador que obstruye una sección que va de acuerdo al diámetro de la ventosa.

1. Colocación de ventosas monofuncionales:

- a) En cada punto alto geométrico para purgar correctamente la conducción y reducir la pérdida de carga.
- b) Regularmente a lo largo de la conducción, cada 500 m como mínimo, para evitar los golpes de ariete consecuencia de los desplazamientos incontrolables de bolsas de aire a presión.
- c) En cada cambio brusco de la pendiente descendiente para evitar el fenómeno de punto alto hidráulico. Debido al cambio de pendiente se producen presiones mayores que actúan como puntos altos geométricos que pueden inmovilizar una bolsa de aire.

2. Colocación de ventosas trifuncionales:

- d) En cada punto alto principal para permitir un llenado rápido de las conducciones.
- e) Regularmente a lo largo de la conducción, como mínimo cada 1 kilómetro, para evitar el aprisionamiento de bolsas de aire en el proceso de llenado.
- f) Antes o después de cada aparato de regulación, siguiendo la pendiente del terreno, para evitar que entre en depresión la canalización luego del cierre o apertura del equipo.
- g) Después de un sistema de bombeo, cuando el valor del golpe de ariete sobrepase la presión estática a la salida de la bomba, para evitar que se propague la depresión causada por la parada de la bomba y disminuir el consiguiente golpe de ariete.



Dimensionamiento de las ventosas.

El dimensionamiento de las ventosas debe realizarse siguiendo las recomendaciones aplicadas en los programas de cálculo y diseño de las empresas especializadas, incluyendo un protocolo de mantenimiento en explotación y de acuerdo al caudal y la depresión que esté dispuesto a someter la tubería. Como sabemos, los líquidos no son compresibles, por lo que el volumen de aire a evacuar es igual al volumen desplazado por el agua. El caudal de aire es igual al caudal que pasa por la tubería.

Por tanto, el dimensionamiento se puede hacer en base a una rotura total de la tubería, la velocidad de vaciado o simplemente utilizar las recomendaciones del fabricante en cuanto a diámetro de la tubería versus diámetro de la ventosa.

2.1.3.4. Pérdidas de carga en la tubería y accesorios

En el apartado 2.1.2.3.2 se ha tratado la temática de las pérdidas de carga tanto debidas por la conducción como las localizadas, siendo válido lo expuesto para conducciones por gravedad así como para conducciones por bombeo.

2.1.3.5 Golpe de ariete

1. Descripción del fenómeno.

El golpe de ariete está motivado por la inercia del líquido que se desplaza por la tubería y se detiene de forma brusca por la apertura o el cierre rápido de una válvula en abastecimientos por gravedad, por el arranque o paro de una bomba, por la acumulación o por los movimientos de bolsas de aire dentro de la tubería. El golpe de ariete puede suponer una sobrepresión superior a la presión de trabajo de la tubería y reventarla, especialmente si se encuentra dañada por golpes o por corrosión (en caso de las tuberías metálicas).

El valor de esta sobrepresión debe tenerse en cuenta a la hora de dimensionar las tuberías, mientras que, en general, el peligro de rotura debido a la depresión no es importante, más aún si los diámetros son pequeños. No obstante, si el valor de la depresión iguala a la tensión de vapor del líquido se producirá cavitación, y al llegar la fase de sobrepresión, estas cavidades de vapor se destruirán bruscamente, pudiendo darse el caso, no muy frecuente, de que el valor de la sobrepresión producida rebase a la de cálculo, con el consiguiente riesgo de rotura. Los principales elementos protectores en este caso serían las ventosas, calderines, chimeneas de equilibrios, tanques unidireccionales, válvulas de sobrepresión, by-pass, etc.

Por lo tanto, el correcto estudio del golpe de ariete es fundamental en el dimensionamiento de las tuberías, ya que un cálculo erróneo puede conducir a:

- a) Un sobredimensionamiento de las conducciones, con lo que la instalación se encarece de forma innecesaria.
- b) Tubería calculada por defecto, con el consiguiente riesgo de que se produzca una rotura.

Descripción del fenómeno en abastecimientos por gravedad.

Si el agua se mueve por una tubería con una velocidad determinada y mediante una válvula se le corta el paso totalmente, el agua más próxima a la válvula se detendrá bruscamente y será empujada por la que viene detrás. Como el agua es algo compresible, empezará a comprimirse en las proximidades de la válvula, y el resto del líquido comprimirá al que le precede hasta que se anule su velocidad. Esta compresión se va trasladando hacia el origen conforme el agua va comprimiendo al límite la que le precede, de manera que al cabo de un cierto tiempo, toda el agua de la tubería está en estas condiciones. De esta manera concluye la primera etapa del golpe de ariete.

En definitiva, se forma una onda de máxima compresión que se inicia en las proximidades de la válvula y se traslada al origen. La energía cinética que lleva el agua se transforma en energía de compresión. Cuando el agua se detiene, ha agotado su energía cinética y se inicia la descompresión en el origen de la conducción trasladándose hacia la válvula, y por la ley pendular esta descompresión no se detiene en el valor de equilibrio, sino que lo sobrepasa para repetir el ciclo. Esta descompresión supone una depresión, que retrocede hasta la válvula para volver a transformarse en compresión, repitiendo el ciclo y originando en el conducto unas variaciones ondulatorias de presión que constituyen el golpe de ariete. En definitiva, se producen transformaciones sucesivas de energía cinética en energía de compresión y viceversa, comportándose el agua como un resorte.

Descripción del fenómeno en impulsiones.

En una impulsión, la parada brusca de motores produce el mismo fenómeno, pero al contrario, es decir, se inicia una depresión aguas arriba de la bomba, que se traslada hacia el final para transformarse en compresión que retrocede a la bomba.

La primera etapa del golpe de ariete se inicia, cuando se produce la parada del grupo de bombeo, el fluido, inicialmente circulando con velocidad (v), continuará en movimiento a lo largo de la tubería hasta que la depresión a la salida del grupo ocasionada por la ausencia de líquido (el que avanza no es repuesto, no es “empujado”), provoque su parada. En estas condiciones, viaja una onda depresiva hacia el depósito, que además va deteniendo el fluido, de tal manera que al cabo de un cierto tiempo, toda la tubería está bajo los efectos de una depresión y con el líquido en reposo.

En la segunda fase la presión en el depósito es siempre superior a la de la tubería, que se encuentra bajo los efectos de la depresión, se inicia un retroceso del fluido hacia la válvula de retención con una velocidad similar pero en sentido contrario. Con el agua a velocidad de régimen, nuevamente se tiene la presión de partida en la tubería, de manera que al cabo de un cierto tiempo toda ella estará sometida a la presión inicial y con el fluido circulando a velocidad (v).

El inicio de la tercera fase es una consecuencia del choque del líquido contra la válvula de retención. El resultado es un brusco aumento de presión y una detención progresiva del fluido, de modo que al cabo de un cierto tiempo, todo el líquido de la tubería está en reposo, y la conducción sometida a una sobrepresión de la misma magnitud que la depresión inicial. Esta tercera fase del golpe de ariete en una impulsión es semejante a la primera fase en el caso de abastecimientos por gravedad.

En la cuarta fase comienza la descompresión, iniciándose de nuevo el movimiento, por lo que al cabo de un tiempo, la situación es idéntica a la que teníamos al principio. Comienza un nuevo ciclo.

Tanto en abastecimientos por gravedad como en impulsiones, la duración de cada una de estas fases es (L/a):

L: longitud de la conducción (m).

a: celeridad (m/s).

2.Celeridad.

La celeridad (a) es la velocidad de propagación de la onda de presión a través del agua contenida en la tubería. Su valor depende fundamentalmente de las características dimensionales de la tubería (relación entre el diámetro exterior y el espesor mínimo) y las características del material del que está hecha (módulo de Young o módulo de elasticidad (E). Esta expresión propuesta por Allievi, permite una evaluación de la celeridad cuando el fluido circulante es agua:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + k_c \cdot \frac{D_m}{e}}}$$

a: celeridad (velocidad de propagación de onda), en m/s

D_m: diámetro medio de la tubería, en mm

e: espesor de la tubería, en mm

k_c: coeficiente función del módulo de elasticidad (E) del material constitutivo de la tubería expresado en kg/m² y cuyo valor es:

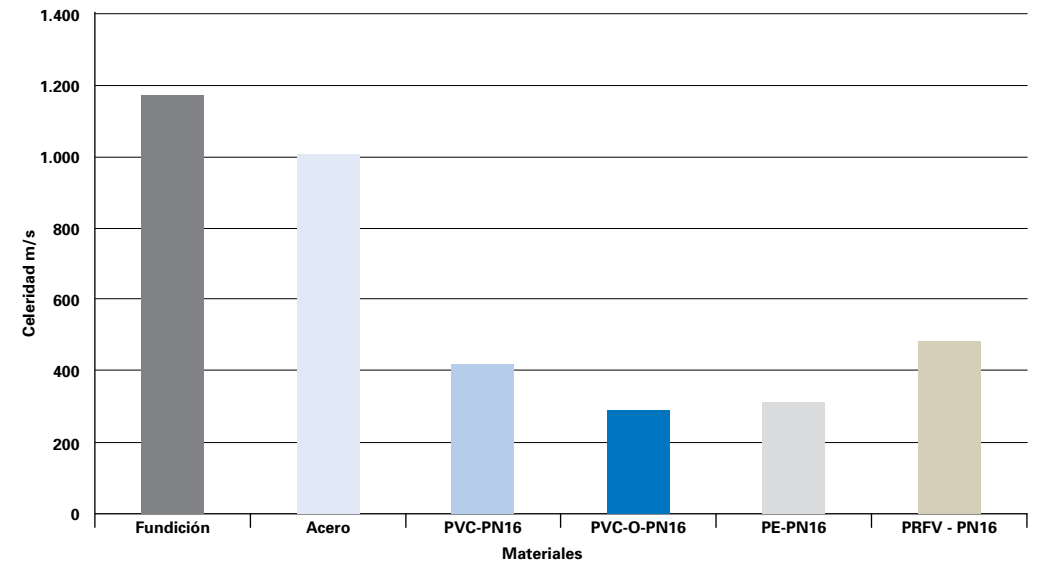
$$k_c = \frac{10^{10}}{E}$$

E: módulo de elasticidad, en kg/m², para la tubería de PVC orientado TOM®: 4x10⁸ kg/m²

A continuación, se muestra algunos ejemplos de cálculo:

PVC-O TOM® C500 PN16															
	DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN355	DN400	DN450	DN500	DN630	DN800	
Di	mm	84,0	104,0	134,4	151,4	189,2	212,8	236,4	298,0	336,0	378,4	426,0	472,8	595,8	757,8
e	mm	2,0	2,4	3,1	3,5	4,4	5,0	5,9	6,9	7,8	8,8	9,9	11,0	13,8	17,4
E	kg/m²	4,00E+08													
K _c	kg/m²	25													
a	m/s²	296	292	294	292	293	294	295	292	292	295	293	295	295	291

La tubería de PVC orientado TOM® como puede verse en el gráfico tiene una celeridad muy inferior a la de las tuberías de otros materiales.



En el caso de que la conducción esté constituida por tramos de tubos de diferentes características, la celeridad media se calculará como la media ponderada de la celeridad de cada tramo. Si $L_1, L_2, L_3, \dots$, son las longitudes de los tramos de distintas características y $a_1, a_2, a_3, \dots$ las celeridades respectivas, el tiempo total L/a que tarda la onda en recorrer la tubería será la suma de los tiempos parciales:

$$\frac{L}{a} = \frac{L_1}{a_1} + \frac{L_2}{a_2} + \frac{L_3}{a_3} + \dots \rightarrow a = \frac{L}{\sum \frac{L_i}{a_i}}$$

3. Tiempo de cierre de la válvula y tiempo de parada de bombas. Cierre lento y cierre rápido.

Se define el tiempo (T) como el intervalo entre el inicio y el término de la maniobra, sea cierre o apertura, tanto total como parcial, ya que durante este tiempo se produce la modificación del régimen de movimiento del

fluido. Este concepto es aplicable tanto a conducciones por gravedad como a impulsiones, conociéndose en el primer caso, como tiempo de cierre de la válvula y como tiempo de parada en el segundo.

En resumen, en las conducciones por gravedad, el cierre de la válvula se puede efectuar a diferente ritmo, y por tanto, el tiempo (T) es una variable sobre la que se puede actuar. Pero en las impulsiones el tiempo de parada viene impuesto y no es posible actuar sobre él, salvo adicionando un volante al grupo motobomba o un sistema similar.

Mendiluce propone la siguiente expresión para el cálculo del tiempo de parada:

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m}$$

L: longitud de la conducción, en m

v: velocidad de régimen del agua, en m/s

C y K: coeficientes de ajustes empíricos

g: aceleración de la gravedad: 9,81 m/s²

H_m: Altura manométrica, en m.c.a.; H_m = H_g + H_T

El coeficiente C es función de la pendiente hidráulica (m), siendo:

$$m = \frac{H_m}{L}$$

Toma el valor C=1 para pendientes hidráulicas crecientes de hasta el 20%, y se reduce progresivamente a partir de este valor hasta hacerse cero para pendientes del 40%. Pendientes superiores al 50% implican paradas muy rápidas, aconsejándose considerar el golpe de ariete máximo de Allievi en toda la longitud de la tubería. Los valores del coeficiente (C) según Mendiluce son los siguientes:

$$\frac{H_m}{L} < 0.20; C = 1$$

$$\frac{H_m}{L} \geq 0.40; C = 0$$

$$\frac{H_m}{L} = 0.30; C = 0,60$$

El coeficiente K depende de la longitud de la tubería y puede obtenerse a partir de la siguiente tabla, propuesta por Mendiluce.

L	K
L < 500	2
L ≈ 500	1.75
500 < L < 1500	1.5
L ≈ 1500	1.25
L > 1500	1

Se define el tiempo crítico T_c como el tiempo que tarda la onda de presión en dar una oscilación completa.

Puesto que (L) es la longitud de la tubería y la celeridad (a) es la velocidad de propagación de la onda de presión,

$$T_c = \frac{2 \cdot L}{a}$$

T_c : Tiempo crítico, en s

L: Longitud de la conducción, en m

a: Celeridad, en m/s

El tiempo crítico T_c se compara con el tiempo de parada T según Mendiluce que ha sido definido anteriormente.

Si $T_c > T$, la maniobra ya habrá concluido cuando se produzca el retorno de la onda de presión y tendremos un cierre rápido, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería.

Si $T_c < T$, estaremos ante un cierre lento y ningún punto alcanzará la sobrepresión máxima, ya que la primera onda positiva reflejada regresa antes de que se genere la última negativa.

$T_c > T$ cierre rápido

$T_c < T$ cierre lento

El caso más desfavorable para la conducción (máximo golpe de ariete) es el cierre instantáneo ($T \approx 0$). En la práctica esto sólo ocurre en impulsiones de gran pendiente hidráulica, no siendo lo habitual.

Como a mayor tiempo (T) menor sobrepresión, si podemos controlar (T) limitaremos, en gran medida los problemas en las tuberías, siendo éste el caso de los abastecimientos por gravedad.

4. Cálculo de la sobrepresión producida por el golpe de ariete. Fórmulas de Michaud y Allievi.

Una vez conocido el valor del tiempo (T) y determinado el caso en el que nos encontramos (cierre lento o cierre rápido), el cálculo del golpe de ariete se realiza de la siguiente forma:

a) Cierre lento.

Michaud propone la siguiente fórmula para valorar el golpe de ariete:

$$\Delta P = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T}$$

Siendo:

ΔP : Sobrepresión debida al golpe de ariete, en m.c.a.

L: Longitud de la tubería, en m

v: Velocidad de régimen del agua, en m/s

T: Tiempo de parada o de cierre según los casos, en s

g: Aceleración de la gravedad, en m/s²

b) Cierre rápido.

Allievi propone para este caso el valor máximo del golpe de ariete la siguiente expresión:

$$\Delta P = \frac{a \cdot v}{g}$$

Donde (a) es la celeridad, en m/s , y (v) velocidad y (g) aceleración de la gravedad, ya han sido definidas anteriormente.

Representando gráficamente las ecuaciones de Allievi y de Michaud, se observa que, si la conducción es lo suficientemente larga, las dos rectas se cortan en un punto, denominado punto crítico. La longitud del tramo de tubería regido por la ecuación de Michaud se conoce como longitud crítica (Lc), y su valor se obtiene, lógicamente, igualando las fórmulas de Michaud y Allievi:

$$\frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T} = \frac{a \cdot v}{g}$$
$$L_c = \frac{a \cdot T}{2}$$

Si nos basamos en el concepto de longitud crítica (Lc), se tiene que:

$L < L_c$	Impulsión corta	$T > \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre lento	Michaud	$\Delta P = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T}$
$L > L_c$	Impulsión larga	$T < \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre rápido	Allievi	$\Delta P = \frac{a \cdot v}{g}$

CASO PRÁCTICO:

Impulsión corta. Cierre lento. Ecuación de Michaud.

			PVC-O DN 355 PN 16	PE 100 DN 355 PN 16	FD K9 DN 350
Longitud (L)		m	1600	1600	1600
H _g	H geométrica	m	10	10	10
Q	Caudal	m³/h	350	350	350
Q	Caudal	l/s	97	97	97

Di	Diámetro interior	mm	336,0	290,6	349,7
v	Velocidad	m/s	1,10	1,47	1,01

Pérdida de carga continua para tubería en servicio calculada por Hazen-Williams					
C	Coeficiente de Hazen-Williams	-	150	150	130
J	Pérdida de carga	m/km	2,69	5,45	2,88
Δh	Pérdida de carga	m.c.a.	4,30	8,72	4,61

ΔH _m	H _g + Δh	m.c.a.	14,30	18,72	14,61
-----------------	---------------------	--------	-------	-------	-------

Sobrepresión por golpe de ariete					
v	Velocidad del agua	m/s	1,10	1,47	1,01
e	Espesor	mm	7,8	32,2	6
E	Módulo de elasticidad a largo plazo	kg/m²	4,00E+08	1,00E+08	1,70E+10
K _c	Valor K largo plazo (característica del material)	-	25,0	100,0	0,6
a	Celeridad	m/s	292	318	1079
T	Tiempo de cierre	s	13,51	13,77	12,30
m	Pendiente hidráulica	-	0,009	0,012	0,009
C	Coef. "C" s/ Mendiluce	-	1,00	1,00	1,00
K	Coef. "K" s/ Mendiluce	-	1,00	1,00	1,00
T _c	Tiempo crítico	s	10,94	10,06	2,96
L _c	Longitud crítica	m	1974,86	2190,51	6637,48
	Tipo de conducción	-	Corta	Corta	Corta
	Tipo de cierre	-	Lento	Lento	Lento
	Fórmula	-	Michaud	Michaud	Michaud
ΔP	Golpe de ariete (±)	m.c.a.	26,48	34,72	26,85

Impulsión larga. Cierre rápido. Ecuación de Allievi.

			PVC-O DN 355 PN 16	PE 100 DN 355 PN 16	FD K9 DN 350
Longitud (L)		m	1600	1600	1600
H _g	H geométrica	m	80	80	80
Q	Caudal	m³/h	350	350	350
Q	Caudal	l/s	97	97	97
Di	Diámetro interior	mm	336,0	290,6	349,7
v	Velocidad del agua	m/s	1,10	1,47	1,01

Pérdida de carga continua para tubería en servicio calculada por Hazen-Williams					
C	Coefficiente de Hazen-Williams	-	150	150	130
J	Pérdida de carga	m/km	2,69	5,45	2,88
Δh	Pérdida de carga	m.c.a.	4,30	8,72	4,61

ΔH _m	H _g + Ah	m.c.a.	84,30	88,72	84,61
-----------------	---------------------	--------	-------	-------	-------

Sobrepresión por golpe de ariete					
v	Velocidad del agua	m/s	1,10	1,47	1,01
e	Espesor	mm	7,8	32,2	6
E	Módulo de elasticidad a largo plazo	kg/m²	4,00E+08	1,00E+08	1,70E+10
K _c	Valor K largo plazo (característica del material)	-	25,0	100,0	0,6
a	Celeridad	m/s	292	318	1079
T	Tiempo de cierre	s	3,12	3,69	2,95
m	Pendiente hidráulica	-	0,053	0,055	0,053
C	Coef. "C" s/ Mendiluce	-	1,00	1,00	1,00
K	Coef. "K" s/ Mendiluce	-	1,00	1,00	1,00
T _c	Tiempo crítico	s	10,94	10,06	2,96
L _c	Longitud crítica	m	456,42	587,73	1592,89
	Tipo de conducción	-	Larga	Larga	Larga
	Tipo de cierre	-	Rápido	Rápido	Rápido
	Fórmula	-	Allievi	Allievi	Allievi
ΔP	Golpe de ariete (±)	m.c.a.	32,69	47,54	111,39

2.1.3.6 Tabla de presiones operativas

Los valores de presión definidos en la norma UNE-EN 805 de la tubería TOM® de PVC-O para aplicaciones de presión vienen definidos en la siguiente tabla:

Presión nominal (bares)		PN12,5	PN16	PN20	PN25
PN	Presión nominal	12,5	16	20	25
PFA	Presión de Funcionamiento Admisible	12,5	16	20	25
PEA (120 minutos - 25°C) ⁽¹⁾	Presión de prueba en obra Admisible	17,5	21	25	30
Pr (50 años - 20°C)	Presión de rotura	17,5	22,4	28	35
Pr (10 horas - 20°C)	Presión de rotura	25,0	30,0	37,0	48,0

⁽¹⁾ con golpe de ariete estimado

La tubería es capaz de soportar presiones internas en servicio, incluidos golpes de ariete de forma aislada del valor indicado en PMA. De forma continua, no se debe superar el valor de PFA. Los golpes de ariete repetitivos

y frecuentes provocan un efecto de fatiga sobre las tuberías y una reducción de la vida útil de las mismas, por lo que deben evitarse mediante el diseño adecuado de la red y el uso de elementos de seguridad (ventosas, válvulas antiariete, etc).

Para determinar, presión máxima operativa que es capaz de soportar en servicio una tubería instalada, o la vida útil de la misma, se deben de tener en cuenta no solamente los valores de presión interna, sino el resto de esfuerzos y solicitaciones a los que está sometida la tubería, como pueden ser acciones gravitatorias (terreno, tubería, fluido, etc.), las acciones del terreno, las producidas por sobrecargas o las producidas por elementos puntuales (piedras, otros accidentes del terreno, etc.) que aumentan los esfuerzos sobre el material y disminuyen la vida útil de la misma (ver capítulo 2.2 Cálculos mecánicos).

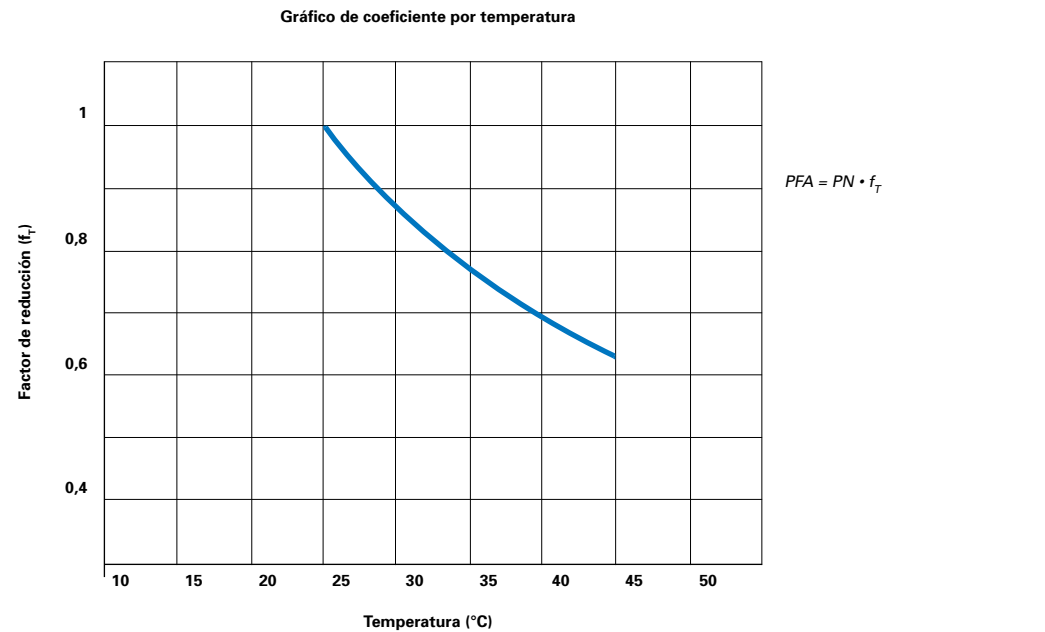
Todos los valores anteriores corresponden a tubería trabajando en un ambiente y con un fluido con temperaturas iguales o inferiores a 25°C. En el caso de trabajar con temperaturas superiores, se debe de utilizar el correspondiente coeficiente de reducción por temperatura (ver capítulo 2.1.4).

2.1.4.- Influencia de la temperatura y otros coeficientes de diseño

2.1.4.1.- Presiones de trabajo según la temperatura

Cuando los valores de temperatura ambiente o del fluido superan los 25°C se debe utilizar un coeficiente de reducción por temperatura.

Este coeficiente de reducción por temperatura (f_T) se debe de utilizar para minorar todos los valores de presiones operativas descritos en el capítulo 2.1.3.6



2.1.4.2. Influencia de los distintos coeficientes de seguridad

Además del coeficiente de reducción por temperatura definido anteriormente, se deben de utilizar otros coeficientes de seguridad que aminoren las presiones operativas cuando existan condiciones que así lo aconsejen. Así mismo hay factores de otra índole que pueden provocar fallos en la tubería, los cuales deben de llevar al proyectista de la instalación a utilizar coeficientes de reducción por aplicación (f_A).

$$PFA = PN \cdot f_T \cdot f_A$$

Las circunstancias o condiciones que deben de llevar a utilizar un coeficiente de reducción por aplicación (f_A) son muy diversas, algunos ejemplos serían:

- Por existencia de otras solicitaciones o esfuerzos además de la presión interna de importancia (ver capítulo 2.2 Cálculos mecánicos): acciones gravitatorias, acciones del terreno, sobrecargas, etc.
- Por nivel bajo de exigencia en la instalación:
 - > Poca homogeneidad o deficiencias en el terreno (relleno no seleccionado)
 - > Poca homogeneidad o deficiencias en la compactación del terreno
 - > Geometría variable o poco adecuada de zanja
 - > Presencia de piedras u otros elementos que puedan causar cargas puntuales en la tubería
- Por posibilidad de aparición de accidentes:
 - > Existencia de niveles altos de capas freáticas o riesgo de aparición
 - > Riesgo de movimientos del terreno
 - > Aumento accidental de la temperatura ambiente o del fluido
- Por consecuencias económicas del fallo de la tubería:
 - > Cortes de suministro a procesos industriales
 - > Pérdidas en suministro de agua de elevado coste
 - > Cortes de suministro de agua de riego a cultivos de alto valor
 - > Afección a otras infraestructuras cercanas
- Por consecuencias sociales del fallo de la tubería:
 - > Corte de suministro de agua potable en poblaciones
 - > Cortes de suministro de aguas de riego en zonas verdes
- Por peligrosidad asociada al fallo de la tubería:
 - > Cercanía a infraestructuras de transporte (carreteras, vías férreas, etc.)
 - > Cercanía a otras infraestructuras (electricidad, gas, etc.)
 - > Posibilidad de producir inundaciones de zonas urbanas
 - > Cercanía o localización en zonas industriales

Se recomienda no ajustar el valor PFA o PMA de una tubería a valores operativos de presión interna, siendo necesario utilizar los coeficiente de reducción por aplicación (f_A) que sean aconsejados por las condiciones de la red.

2.2 Cálculos mecánicos

2.2.1 Clasificación de los distintos tipos de tuberías.

Según el comportamiento mecánico de la sección transversal, las tuberías pueden clasificarse en rígidas, semirrígidas y flexibles. La clasificación más común que se hace es atendiendo a la capacidad de deformación propuesta por Marston.

Rígidas: $\frac{\Delta D}{D} \leq 0,1\%$

Semirrígidas: $0,1\% < \frac{\Delta D}{D} \leq 3\%$

Flexibles: $\frac{\Delta D}{D} > 3\%$

Otra forma de entender la rigidez de una tubería, tal y como indica la norma europea prEN 1295-3, es a partir del parámetro que se denomina rigidez relativa, (S_r):

$$S_r = \frac{E'}{8 \cdot S_c \cdot (1 - \vartheta_s^2)}$$

- Donde:
- Sr: Rigidez relativa
 - E': Módulo de elasticidad o de reacción del relleno de la zanja, en N/mm²
 - ϑ_s : Módulo de Poisson del suelo; normalmente su valor es 0.3, adimensional
 - S_c: Rigidez circunferencial de la tubería (N/mm²), definida como:

$$S_c = \frac{E}{12} + \left(\frac{e}{D_m}\right)^3$$

- Siendo:
- E: módulo de elasticidad del material del tubo, en N/mm², para largo y corto plazo.

Material del tubo	Corto plazo	Largo plazo
PVC-O	4200	2500
PVC	3600	1750
PE	1000	150

- e : espesor del tubo, en m
- D_m: diámetro medio del tubo, en m

La clasificación recogida en dicho proyecto de norma es:

Rígidas: $S_r \leq 9$

Flexibles: $S_r > 9$

Semirrígidas: $9 \leq S_r \leq 24$

Igualmente, se puede hacer una clasificación de las tuberías atendiendo al material en el que está fabricada la tubería y a su geometría, según la norma UNE-EN 805 se clasifican según el siguiente criterio:

- **Rígidas:** Aquellas cuya capacidad de carga está limitada por la rotura, sin que previamente aparezcan deformaciones significativas en su sección transversal.
- **Flexibles:** Aquellas cuya capacidad de carga está limitada por la deformación admisible.
- **Semirrígidas:** Aquellas cuya capacidad de carga puede estar limitada bien por la rotura o bien por la deformación transversal.

La clasificación de las tuberías también dependerá del diámetro, del espesor y de las condiciones de instalación, luego de forma general, podríamos hacer la siguiente clasificación de las tuberías:

- **Rígidas:** Hormigón o arcilla (gres).
- **Flexibles:** Acero, PRFV, fundición, PE, PVC-U y PVC-O TOM®
- **Semirrígidas:** Se podría considerar las tuberías en fundición, PE, PVC-U y PVC-O TOM® dependiendo de los diámetros, espesores y condiciones de instalación.

2.2.2. Fuerzas de empuje

2.2.2.1 Anclajes de hormigón

Los empujes a los que están sometidos las tuberías en las piezas especiales (codos, conos de reducción, válvulas, bridas ciegas, etc.) necesitan ser contrarrestados por anclajes materializados por macizos de hormigón que absorban estos empujes y los transmitan al terreno sin provocar daño alguno en la instalación.

La fórmula general del empuje es:

1. En válvulas, T y conos de reducción:

$$F=P \cdot S$$

2. En codos:

$$F=2 \cdot P \cdot S \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

Donde:

F : Empuje o esfuerzo, en daN

P : Presión de ensayo a la que se prueba la tubería (1,4 x presión de trabajo), en bar

S : Sección del tubo, en cm² (en una T es la de la derivación, y en un cono de reducción la diferencia entre las sección de entrada y salida).

$$S = \pi \cdot \frac{ID^2}{4} \qquad S = \pi \cdot \frac{(ID_1^2 - ID_2^2)}{4}$$

Resumiendo, a la expresión de empuje se le podría añadir un coeficiente K que varía en función de la geometría del accesorio.

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

Así tenemos los siguientes valores:

Accesorios	Valor de K
Tes a 90º y Tapones	1
Codos 90º	1,414
Codos 45º	0,765
Codos 22º30'	0,39
Codos 11º15'	0,196

Cuando la geometría del accesorio es distinta a estas, se puede obtener el valor de (K) a partir de esta ecuación polinómica:

$$K = -3 \cdot 10^{-7} \cdot \alpha^3 + 1.4 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2 + 1.7 \cdot 10^{-2} \cdot \alpha + 7.2 \cdot 10^{-3}$$

Así por ejemplo para $\alpha = 35^\circ$, tenemos que $K = 0,60$

A continuación, se indican los empujes (o esfuerzos) a los que están sometidos a una serie de accesorios en PN16 (se considerará una presión de trabajo de 11,4 bar, y una presión de ensayo de 16 bar)

				F (daN)				
DN	D _i	S	P	Tes y tapones	Codo 90º	Codo 45º	Codo 22º30'	Codo 11º15'
mm	mm	cm²	bares					
90	84,0	55,42	16,0	884,5	1.250,6	676,6	344,9	173,4
110	104,0	84,95	16,0	1.355,8	1.917,1	1.037,2	528,8	265,7
140	132,4	137,68	16,0	2.197,3	3.107,0	1.681,0	857,0	430,7
160	151,4	180,03	16,0	2.873,3	4.062,8	2.198,0	1.120,6	563,2
200	189,2	281,15	16,0	4.487,1	6.344,7	3.432,6	1.750,0	879,5
225	212,8	355,66	16,0	5.676,3	8.026,3	4.342,4	2.213,8	1.112,6
250	236,4	438,92	16,0	7.005,2	9.905,3	5.358,9	2.732,0	1.373,0
315	298,0	697,46	16,0	11.131,5	15.740,0	8.515,6	4.341,3	2.181,8
355	336,0	886,68	16,0	14.151,5	20.010,2	10.825,9	5.519,1	2.773,7
400	378,4	1.124,58	16,0	17.948,4	25.379,0	13.730,5	6.999,9	3.517,9
450	426,0	1.425,31	16,0	22.747,9	32.165,6	17.402,2	8.871,7	4.458,6
500	472,8	1.755,68	16,0	28.020,6	39.621,2	21.435,8	10.928,0	5.492,0
630	595,8	2.787,99	16,0	44.496,3	62.917,7	34.039,7	17.353,6	8.721,3
800	757,8	4.510,23	16,0	71.983,3	101.784,4	55.067,3	28.073,5	14.108,7

Igualmente, la tubería sometida a un curvado viene a comportarse como un “codo” de ángulo reducido, ello significa que se producen unas contrapresiones sobre el terreno según se indica en la tabla siguiente. Estas contrapresiones en condiciones normales, pueden ser soportadas por el terreno suficientemente compactado. Si no fuera posible, habría que apoyar con anclajes si la curvatura fuera excesiva.

DN mm	Esfuerzo en un tubo curvado 2º(α=2º) en KN ⁽¹⁾					
	Bar					
	1	5	10	15	20	25
90	0,02	0,11	0,23	0,34	0,46	0,57
110	0,04	0,18	0,35	0,53	0,70	0,88
140	0,06	0,28	0,57	0,85	1,14	1,42
160	0,07	0,37	0,74	1,11	1,49	1,86
200	0,12	0,58	1,16	1,74	2,32	2,90
225	0,15	0,73	1,47	2,20	2,93	3,67
250	0,18	0,91	1,81	2,72	3,62	4,53
315	0,29	1,44	2,88	4,32	5,75	7,19
355	0,37	1,83	3,66	5,49	7,32	9,14
400	0,46	2,32	4,64	6,96	9,28	11,60
450	0,59	2,94	5,88	8,82	11,76	14,70
500	0,72	3,62	7,24	10,86	14,49	18,11
630	1,15	5,75	11,50	17,25	23,00	28,75
800	1,86	9,30	18,61	27,91	37,21	46,52

⁽¹⁾ Esfuerzo en cada tubo de 5,95 metros.

3. En conducciones inclinadas:

$$F = p \cdot (\sin \alpha / (2 \cdot \tan \varphi \cdot \cos \alpha))$$

Donde:

F : Empuje o esfuerzo, en daN

p: Peso total en daN del tramo situado entre dos anclajes

α: Ángulo formado por la conducción y la horizontal, en º

φ: Ángulo de rozamiento entre la conducción y el terreno, en º

Nota: tan φ Depende de la naturaleza del terreno

Para que un macizo de anclaje cumpla la misión para la que se ha diseñado debe cumplir la siguiente condición:

$$T_g + T_f \geq 1,5 \cdot F$$

Donde:

T_g: Reacción pasiva del suelo (en Kg), dada por la expresión siguiente:

$$T_g = 0,5 \cdot \delta_s \cdot (H_1^2 - H_2^2) \cdot B \cdot \tan(45 + \theta/2)^\circ$$

Donde:

δ_s : Peso específico del terreno y fricción del terreno (ver tabla 1), en kg/m³

H₁ : Profundidad del macizo de hormigón desde su base hasta la cota del terreno, en m

H₂ : Profundidad de la parte superior del macizo, en m

B: Base mayor del hormigón, en m

θ : Ángulo de rozamiento interno del terreno (ver tabla 1), en º

T_f: Fuerza de rozamiento hormigón con el suelo (en Kg), dada por la expresión siguiente:

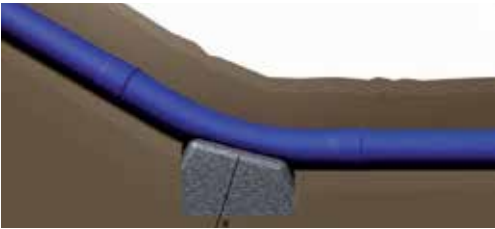
$$T_f = (V_c \cdot \delta_c + V_s \cdot \delta_s) \cdot f$$

- V_c : Volumen del macizo, en m^3
 δ_c : Peso específico del hormigón (se podría considerar δ_c : 2.400 kg/m^3 cuando es hormigón armado y δ_c : 2.100 kg/m^3 cuando es hormigón en masa)
 V_s : Volumen de terreno por encima del macizo de hormigón, en m^3
 δ_s : Peso específico del terreno, en kg/m^3
 f : Coeficiente de rozamiento entre la tierra y el hormigón (ver tabla 1)

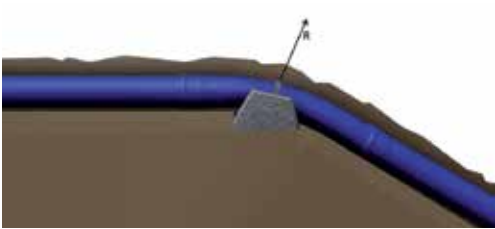
A continuación se muestran los valores para distintos tipos de materiales de suelos.

Tabla 1	θ	$f = \text{Sen}(\theta)$	$\delta_c \text{ (kg/m}^3\text{)}$
Roca fragmentada	40	0,64	2.000
Grava / arena	35	0,57	1.900
Arena / grava	30	0,50	2.000
Limos / arcillas	25	0,42	1.900
Material orgánico	15	0,26	1.800

Las siguientes figuras muestran la disposición de algunos anclajes típicos.



Curva tipo 1



Curva tipo 2



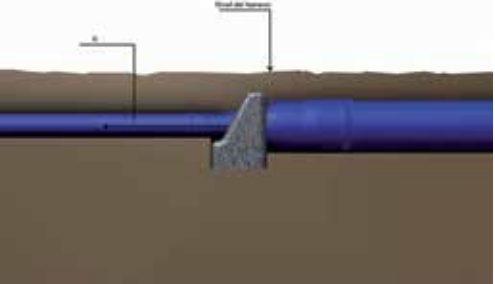
Curva a 90 ° (planta)



Te (planta)



Extremo de anclaje (planta)

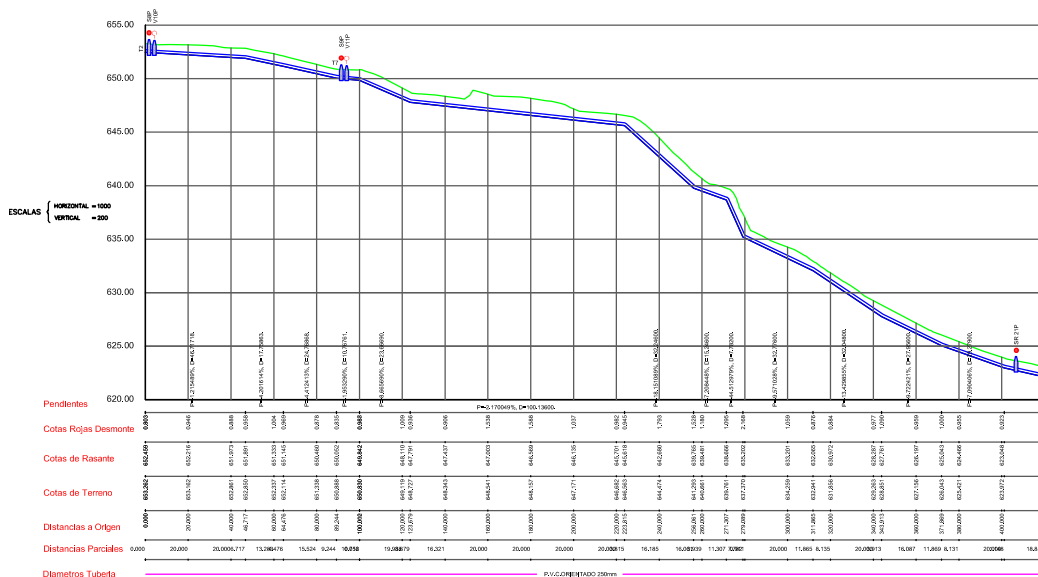


Reducción (sección)

CASO PRÁCTICO.

Dado el siguiente perfil longitudinal de una red a presión, proponer anclajes de hormigón en los puntos pK 0+223.8, pK0+271.3 y pK0+279 y tras ser sometidos a una presión de prueba de 16 bar sobre una tubería DN250 PN16 en PVC-O.

2



Ejemplos de preparación de anclajes

Tipo de terreno: Roca fragmentada.

CODO VERTICAL FUNDICIÓN 45° DN250 PN16 - pK 0+223,8

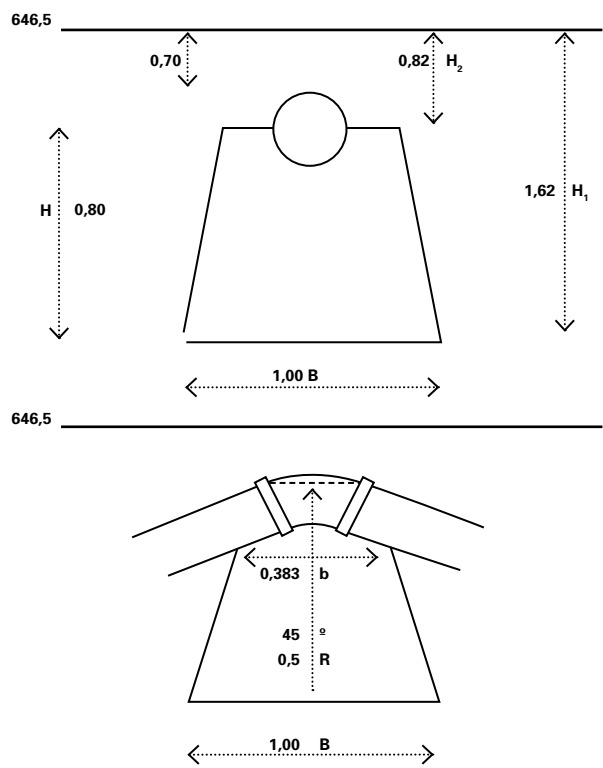
DN	250
P prueba (bar)	16,0
α (°)	45
K	0,77
Sint. (m²)	0,05
P prueba (kg/m²)	160.000
F (Kp)	6.011

Roca fragmentada

T_g : Reacción pasiva del suelo		
δs	kg/m³	2.000,00
H_1	m	1,62
H_2	m	0,82
θ	º	40,00
B	m	1,00
$T_g = 0,5 \delta s (H_1^2 - H_2^2) B \operatorname{tg}^2 (45 + \theta/2)$	Kp	8.977,07

T_r : Fuerza de rozamiento hormigón - suelo		
Altura macizo (H)	m	0,80
Longitud macizo	m	0,80
Base mayor (B)	m	1,00
Base menor (b)	m	0,4
Superficie macizo	m²	0,55
Vc	m³	0,44
δc	kg/m³	2.100,00
Vs (compactación 95-97%)	m³	0,45
δs	kg/m³	2.000,00
f	-	0,64
$T_r = (Vc \cdot \delta c + Vs \cdot \delta s) \cdot f$	Kp	1.175,17

Coficiente de seguridad (>1,5)	-	1,69
--------------------------------	---	------



CODO VERTICAL FUNDICIÓN 45° DN250 PN16 - pK 0+271,3

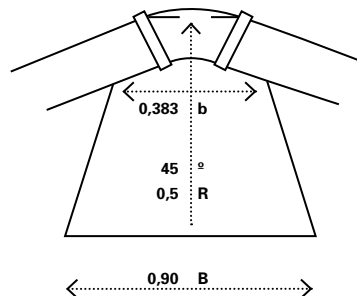
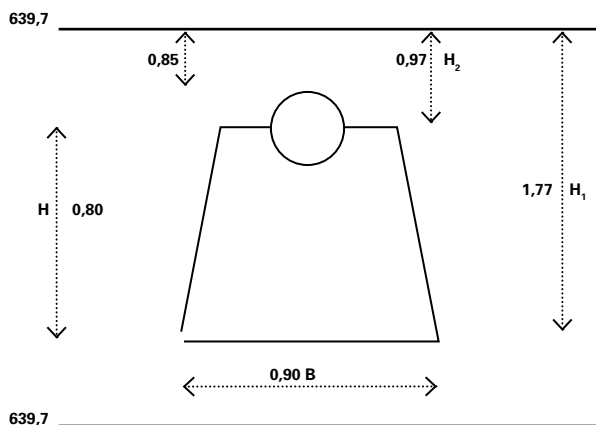
DN	250
P prueba (bar)	16,0
α (°)	45
K	0,77
Sint. (m²)	0,05
P prueba (kg/m²)	160.000
F (Kp)	6.011

Roca fragmentada

T_g : Reacción pasiva del suelo		
δs	kg/m³	2.000,00
H_1	m	1,77
H_2	m	0,97
θ	°	40,00
B	m	0,90
$T_g = 0,5 \delta s (H_1^2 - H_2^2) B \operatorname{tg}^2 (45 + \theta/2)$	Kp	9.033,88

T_r : Fuerza de rozamiento hormigón - suelo		
Altura macizo (H)	m	0,80
Longitud macizo	m	0,80
Base mayor (B)	m	0,90
Base menor (b)	m	0,4
Superficie macizo	m²	0,51
Vc	m³	0,41
δc	kg/m³	2.100,00
Vs (compactación 95-97%)	m³	0,50
δs	kg/m³	2.000,00
f	-	0,64
$T_r = (Vc \cdot \delta c + Vs \cdot \delta s) \cdot f$	Kp	1.185,12

Coefficiente de seguridad (>1,5)	-	1,70
----------------------------------	---	------



CODO VERTICAL FUNDICIÓN 45º DN250 PN16 - pK 0+279

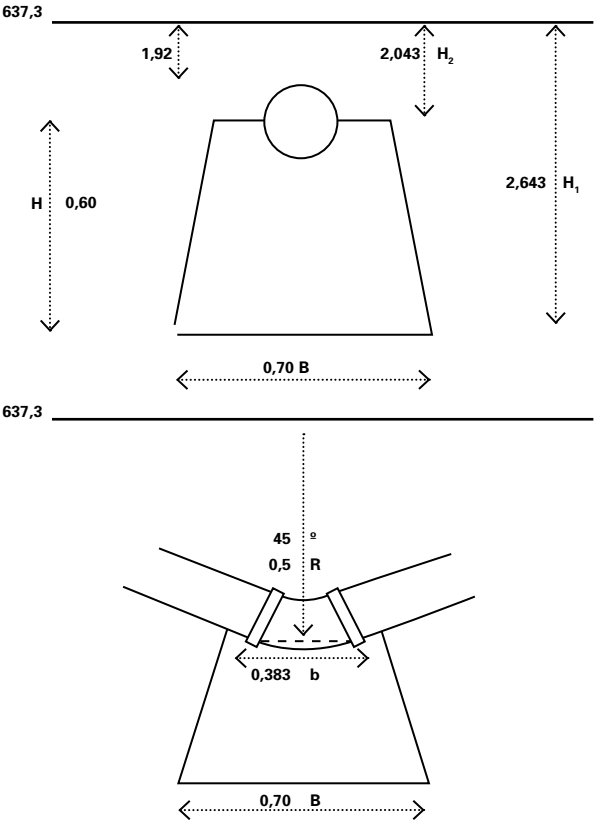
DN	250
P prueba (bar)	16,0
α (º)	45
K	0,77
Sint. (m²)	0,05
P prueba (kg/m²)	160.000
F (Kp)	6.011

Roca fragmentada

T _g : Reacción pasiva del suelo		
δs	kg/m³	2.000,00
H ₁	m	2,64
H ₂	m	2,04
θ	º	40,00
B	m	0,70
$T_g = 0,5 \delta s (H_1^2 - H_2^2) B \operatorname{tg}^2 (45 + \theta/2)$	Kp	9.051,21

T _r : Fuerza de rozamiento hormigón - suelo		
Altura macizo (H)	m	0,60
Longitud macizo	m	0,60
Base mayor (B)	m	0,70
Base menor (b)	m	0,4
Superficie macizo	m²	0,32
Vc	m³	0,19
δc	kg/m³	2.100,00
Vs (compactación 95-97%)	m³	0,66
δs	kg/m³	2.000,00
f	-	0,64
$T_r = (Vc \cdot \delta c + Vs \cdot \delta s) \cdot f$	Kp	1.111,30

Coficiente de seguridad (>1,5)	-	1,69
--------------------------------	---	------



Tipo de terreno: Limos y arcillas

CODO VERTICAL FUNDICIÓN 45° DN250 PN16 - pK 0+223,8

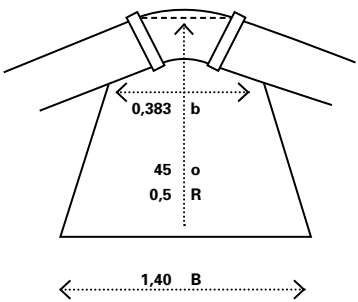
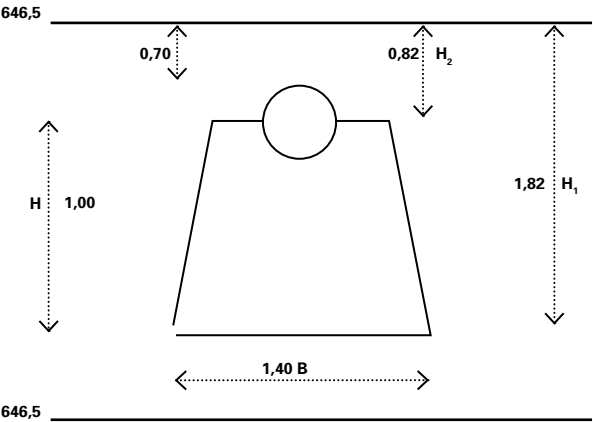
DN	250
P prueba (bar)	16,0
α (°)	45
K	0,77
Sint. (m²)	0,05
P prueba (kg/m²)	160.000
F (Kp)	6.011

Limos y arcillas

T_g : Reacción pasiva del suelo		
δs	kg/m³	1.900,00
H_1	m	1,82
H_2	m	0,82
θ	°	25,00
B	m	1,40
$T_g = 0,5 \delta s (H_1^2 - H_2^2) B \operatorname{tg}^2 (45 + \theta/2)$	Kp	8.651,29

T_r : Fuerza de rozamiento hormigón - suelo		
Altura macizo (H)	m	1,00
Longitud macizo	m	1,00
Base mayor (B)	m	1,40
Base menor (b)	m	0,4
Superficie macizo	m²	0,89
Vc	m³	0,89
δc	kg/m³	2.100,00
Vs (compactación 95-97%)	m³	0,73
δs	kg/m³	1.900,00
f	-	0,42
$T_r = (Vc \cdot \delta c + Vs \cdot \delta s) \cdot f$	Kp	1.369,42

Coefficiente de seguridad (>1,5)	-	1,67
----------------------------------	---	------



CODO VERTICAL FUNDICIÓN 45° DN250 PN16 - pK 0+271,3

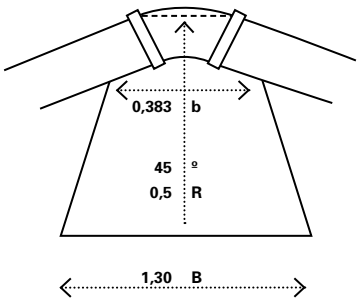
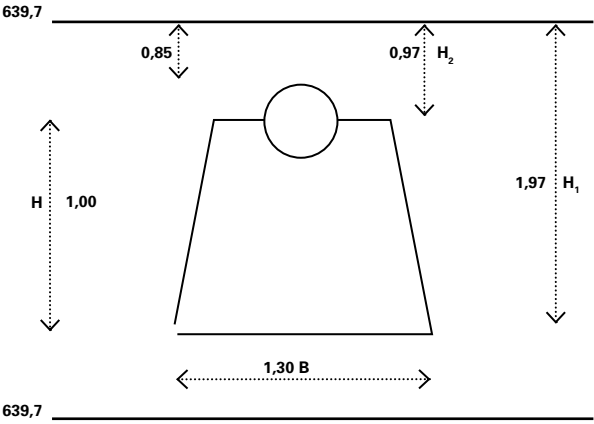
DN	250
P prueba (bar)	16,0
α (°)	45
K	0,77
Sint. (m²)	0,05
P prueba (kg/m²)	160.000
F (Kp)	6.011

Limos y arcillas

T _g : Reacción pasiva del suelo		
δs	kg/m³	1.900,00
H ₁	m	1,97
H ₂	m	0,97
θ	º	25,00
B	m	1,30
$T_g = 0,5 \delta s (H_1^2 - H_2^2) B \operatorname{tg}^2 (45 + \theta/2)$	Kp	8.946,22

T _r : Fuerza de rozamiento hormigón - suelo		
Altura macizo (H)	m	1,00
Longitud macizo	m	1,00
Base mayor (B)	m	1,30
Base menor (b)	m	0,4
Superficie macizo	m²	0,84
Vc	m³	0,84
δc	kg/m³	2.100,00
Vs (compactación 95-97%)	m³	0,82
δs	kg/m³	1.900,00
f	-	0,42
$T_r = (Vc \cdot \delta c + Vs \cdot \delta s) \cdot f$	Kp	1.393,31

Coefficiente de seguridad (>1,5)	-	1,72
----------------------------------	---	------



CODO VERTICAL FUNDICIÓN 45° DN250 PN16 - pK 0+279

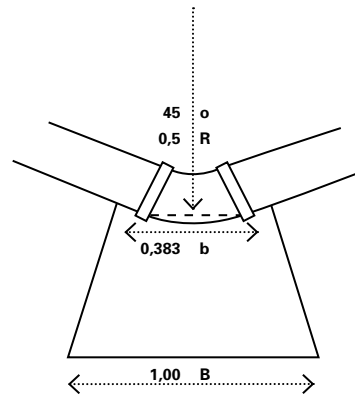
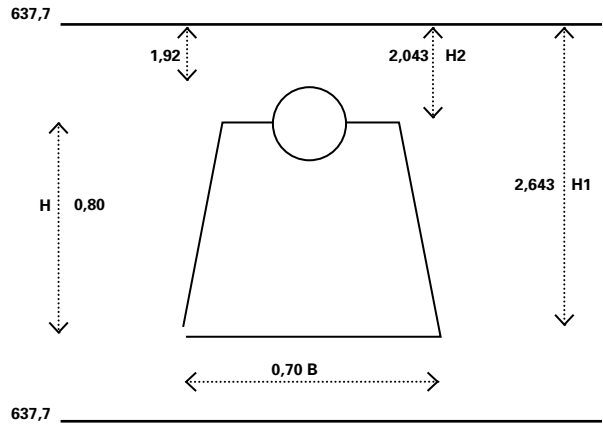
DN	250
P prueba (bar)	16,0
α (°)	45
K	0,77
Sint. (m²)	0,05
P prueba (kg/m²)	160.000
F (Kp)	6.011

Limos y arcillas

T_g : Reacción pasiva del suelo		
δs	kg/m³	1.900,00
H_1	m	2,84
H_2	m	2,04
θ	°	25,00
B	m	1,00
$T_g = 0,5 \delta s (H_1^2 - H_2^2) B \operatorname{tg}^2 (45 + \theta/2)$	Kp	9.149,40

T_f : Fuerza de rozamiento hormigón - suelo		
Altura macizo (H)	m	0,80
Longitud macizo	m	0,80
Base mayor (B)	m	1,00
Base menor (b)	m	0,4
Superficie macizo	m²	0,55
Vc	m³	0,44
δc	kg/m³	2.100,00
Vs (compactación 95-97%)	m³	1,13
δs	kg/m³	1.900,00
f	-	0,42
$T_f = (Vc \cdot \delta c + Vs \cdot \delta s) \cdot f$	Kp	1.291,93

Coefficiente de seguridad (>1,5)	-	1,74
----------------------------------	---	------



Conclusiones

- Considerando como tipo de terreno roca fragmentada y la profundidad de la tubería PVC-O DN250 PN16 según indica el perfil, se podrían realizar anclajes de hormigón sobre los codos verticales de 45º considerando como mínimo estas características:

pK	Anclaje de hormigón			
	Base mayor (B), m	Base menor (b), m	Altura (H), m	Coefficiente de seguridad (>1,5)
pK 0+223,8	1,00	0,40	0,80	1,69
pK 0+271,3	0,90	0,40	0,80	1,70
pK 0+279	0,70	0,40	0,60	1,69

- Considerando como tipo de terreno limos y arcilla y la profundidad de la tubería PVC-O DN250 PN16 según indica el perfil, se podrían realizar anclajes de hormigón sobre los codos verticales de 45º considerando como mínimo estas características:

pK	Anclaje de hormigón			
	Base mayor (B), m	Base menor (b), m	Altura (H), m	Coefficiente de seguridad (>1,5)
pK 0+223,8	1,40	0,40	1,00	1,67
pK 0+271,3	1,30	0,40	1,00	1,72
pK 0+279	1,00	0,40	0,80	1,74

Nota: Se recomienda una profundidad de $H_2 > 1$ m en los pK 0+223,8 y 0+271,3 y una compactación del volumen (V_s) de 95 – 97% en todos los casos.



2.2.3. Instalaciones enterradas

2.2.3.1 Dimensionamiento de zanjas

Aunque no se descartan otras aplicaciones, la tubería TOM® está especialmente indicada para instalaciones enterradas. Las dimensiones de la zanja dependerán de las cargas a las que vaya a estar sometida la tubería (tráfico, tierras, etcétera) según norma UNE 53331.

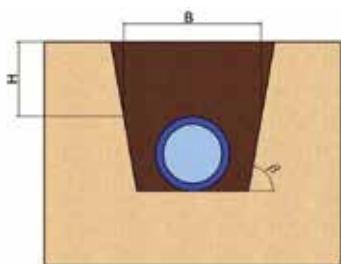
2.2.3.1.1 Excavación

A efecto de cálculo, se consideran tres tipos de instalaciones en zanja.

TIPO 1: Instalación en zanja o bajo terraplén.

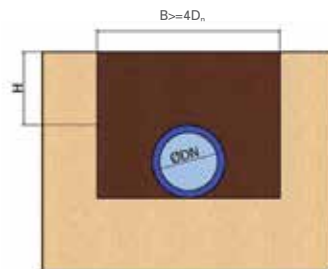
Los datos que deben de conocerse son:

- Altura de recubrimiento por encima de la generatriz superior del tubo, H , en metros.
- Anchura de la zanja al nivel de la generatriz superior del tubo, B , en metros. En caso de instalación bajo terraplén, se considera $B \geq 4D_n$.
- Ángulo de inclinación de las paredes de la zanja, β , en grados.



Esquema de instalación en zanja (1)

(1) $B \leq 2D_n$ y $H \geq 1,5B$ o $2D_n < B \leq 3D_n$ y $H \geq 3,5B$



Esquema de instalación en terraplén (2)

(2) $B \geq 4D_n$

Como regla general, cuando no exista tráfico la generatriz superior del tubo estará a una profundidad mínima de 0,6 metros, ampliándose en el caso de tráfico rodado a una profundidad mínima de 1 metro.

La anchura mínima de la zanja vendrá determinada por las siguientes tablas:

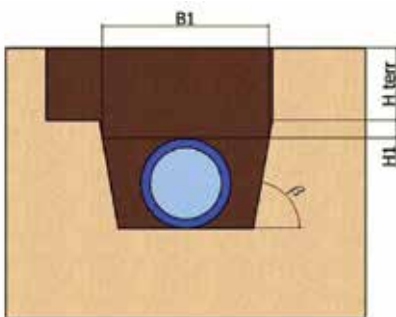
DN (mm)	Anchura mínima de zanja, B (m)
90 - 250	0,60
315	0,85
355	1,00
400	1,10
450	1,15
500	1,20
630	1,35
800	1,65

Profundidad de zanja, H (m)	Anchura mínima de zanja, B (m)
$H < 1,00$	0,60
$1,00 < H < 1,75$	0,80
$1,75 < H < 4,00$	0,90
$H > 4,00$	1,00

TIPO 2: Instalación en zanja terraplenada.

Los datos que deben de conocerse son:

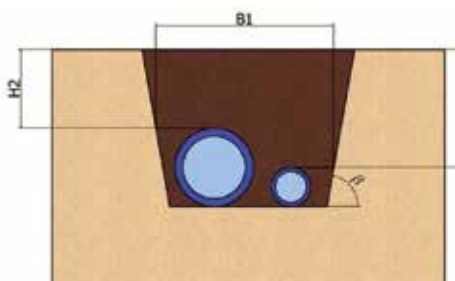
- Altura de recubrimiento por encima de la generatriz superior del tubo hasta el nivel del suelo natural, H_1 , en metros.
- Altura del recubrimiento en terraplén, H_{terr} , en metros.
- Anchura de la zanja al nivel de la generatriz superior del tubo, B_1 , en metros.
- Ángulo de inclinación de las paredes de la zanja, β , en grados.



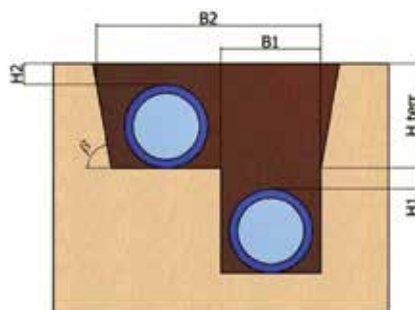
Instalación en zanja terraplenada

TIPO 3: Instalación de dos conducciones en la misma zanja.

Los datos que deben de conocerse son los mismos que en los dos casos anteriores y se debe diferenciar entre dos conducciones al mismo y distinto nivel.



Esquema de dos conducciones al mismo nivel



Dos conducciones a distinto nivel

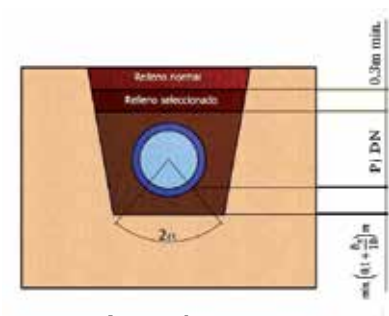
2.2.3.1.2 Características de apoyo y relación de proyección

El fondo de la zanja debe asegurar un apoyo homogéneo, uniforme y firme a todo lo largo de la tubería. Los datos a conocer son el ángulo de apoyo, 2α , en grados, y la relación de proyección, P_j . A efecto de cálculo se pueden considerar dos tipos:

TIPO 1: El apoyo consiste en una cama continua de material granular compactado sobre la que descansa el tubo.

La cama de apoyo debe tener una compactación uniforme en toda su longitud y envolver el tubo según el ángulo de apoyo 2α . La relación de proyección para este tipo de apoyo es $P_i = 1$.

DN (mm)	Profundidad mínima cama de apoyo (m)
90	0,109
110	0,111
140	0,114
160	0,116
200	0,120
225	0,123
250	0,125
315	0,132
355	0,136
400	0,140
450	0,145
500	0,150
630	0,163
800	0,180

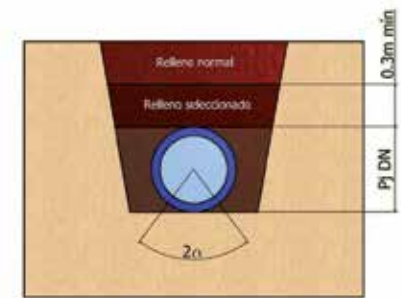


Apoyo tipo 1

En resumen, y para un óptimo comportamiento de la instalación, se debe crear un lecho con material granular de entre 10 y 18 cm por debajo de la superficie donde se apoyará el tubo. La tubería no puede reposar en ningún caso directamente sobre rocas o piedras grandes.

TIPO 2: En este tipo de apoyo, el tubo descansa directamente sobre el fondo de la zanja o sobre el suelo natural, cuando se trata de una instalación bajo terraplén.

Se utilizará únicamente en suelos arenosos exentos de terrones y piedras. Una vez instalada la tubería, se añade un relleno seleccionado, compactándose a ambos lados del tubo garantizando el ángulo de apoyo 2α . La relación de proyección para este tipo de apoyo es $P_i = 1$.



Apoyo tipo 2

2.2.3.1.3 Relleno de la zanja

Una vez colocados los tubos en la línea central de la zanja, se procede al relleno a ambos lados, nunca encima del tubo, con un material fino, libre de piedras y similar al de la cama del lecho, compactando en

capas apisonadas de espesor no superior a 15 cm. El grado de compactación debe de ser superior al 95% Proctor Normal. Es especialmente importante que no queden espacios sin rellenar por debajo del tubo. A partir de ahí, puede usarse para el relleno tierras procedentes de la excavación, compactada en capas sucesivas de altura no superior a 20 cm y con un grado de compactación 100% Proctor Normal.

2.2.3.2 Tensiones y esfuerzos

Antes de mencionar los tipos de esfuerzos y deformaciones a los que pueden estar sometidos una tubería enterrada, se deben de identificar las acciones principales que influyen:

Acciones gravitatorias: Son producidas por los elementos constructivos de la tubería, y son:

- El propio peso de la tubería, el cual dependerá del DN, el espesor y el tipo de material.
- Cargas permanentes o cargas muertas. Estas son debidas a los pesos de los elementos constructivos o instalaciones fijas que tenga que soportar la tubería.
- Carga debida al peso del fluido en el interior de la tubería.
- Presión hidráulica interior o presión de trabajo.

Acciones del terreno: Son producidas por el empuje del terreno, para lo cual debe tenerse en consideración la instalación de la tubería, el tipo de apoyo, el tipo de relleno asociado, el grado de compactación y la naturaleza del terreno. Todas estas acciones producirán cargas verticales y empujes horizontales o laterales.

Acciones por sobrecargas: Estas son producidas principalmente por la acción de los vehículos que pueden transitar sobre la tubería y al tipo de pavimentación.

Acciones debidas al nivel freático: Es el empuje hidrostático generado por el agua subterránea.

También, y en casos muy extremos, habría que considerar las acciones climáticas (viento, nieve, cambios de temperatura, etc.), sísmicas y reológicas.

En resumen, las acciones principales o más determinantes en una tubería enterrada PVC-O TOM® son la presión interior, las acciones del terreno y el tráfico.

2.2.3.2.1 Acciones gravitatorias

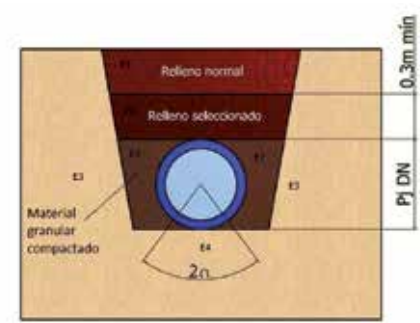
Las características de la tubería así como sus condiciones de trabajo juegan un papel importante en la resistencia así como en la deformación de la misma.

2.2.3.2.2 Acciones del terreno y el relleno

Las características de los suelos necesarias para el cálculo de las cargas de tierra son:

- Peso específico de las tierras de relleno (γ), en kN/m^3 . Si no se disponen de datos de ensayos se recomienda utilizar $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Ángulo de rozamiento interno del relleno (ρ), en grados.
- Ángulo de rozamiento del relleno con las paredes de la zanja (ρ'), en grados.
- Coeficiente de empuje lateral de las tierras del relleno, K_1 y K_2 .
- Módulos de compresión en las diferentes zonas del relleno y de la zanja, E1, E2, E3 y E4, en N/mm^2 .

- E_1 : módulo de compresión del relleno en la parte superior del tubo.
- E_2 : módulo de compresión del relleno alrededor del tubo, hasta 30 cm por encima de la coronación.
- E_3 : módulo de compresión del terreno en la zona lateral del tubo.
- E_4 : módulo de compresión del terreno en la zona inferior del tubo.



Se puede considerar cuatro tipos de suelos:

Grupo 1: No cohesivos. Se incluyen en este grupo las gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino ($\Phi \leq 0,06$ mm), inferior al 5%.

Grupo 2: Poco cohesivos. Se incluyen en este grupo las gravas y arenas poco arcillosas o limosas. Porcentaje de fino ($\Phi \leq 0,06$ mm), entre 5% y el 15%.

Grupo 3: Medianamente cohesivos. Se incluyen en este grupo las gravas y arenas poco arcillosas o limosas. Porcentaje de fino ($\Phi \leq 0,06$ mm), entre 15% y el 40%.

Grupo 4: Cohesivos. Se incluyen en este grupo las arcillas, los limos y los suelos con mezcla de componentes orgánicos.

Referente a los valores del ángulo de rozamiento interno del relleno (p), si no se tienen los ensayos correspondientes, la norma UNE 53331 recomienda adoptar los siguientes valores:

Grupo de suelo	Ángulo de rozamiento interno, p
1	35°
2	30°
3	25°
4	20°

Y a partir del ángulo de rozamiento interno, p , de las tierras de relleno, se establece el ángulo de rozamiento de relleno con las paredes de la zanja, p' , distinguiéndose los siguientes casos:

Compactación	p'
Relleno de la zanja compactado por capas en toda la altura de la zanja	p
Relleno de la zanja compactado por capas en la zona del tubo y sin compactar el resto de la zanja	$2/3 p$
Relleno de zanja con compactado posterior	$1/3 p$
Zanja entibada, sin compactado posterior a la retirada de las tablas	0

Los coeficientes de empuje lateral de las tierras de relleno se definen de la siguiente manera,

- K_1 : coeficiente del relleno utilizado por encima de la generatriz superior del tubo.
- K_2 : coeficiente del relleno utilizado alrededor del tubo hasta la generatriz superior.

Grupo de suelo	K_1	K_2
1	0,5	0,4
2		0,3
3		0,2
4		0,1

Para el cálculo de los módulos de compresión en las diferentes zonas de relleno y de la zanja, se pueden calcular utilizando el método del CBR (California Bearing Ratio), utilizando un plato redondo con una superficie de 700 cm². Los valores E_s , en N/mm², vienen dados por la expresión siguiente:

$$E_s = \frac{1,5}{\pi R} \cdot \frac{F}{y}$$

Donde:

E_s : Módulo de compresión, en N/mm²

R: Radio del plato de carga, en mm

F/y : Es la pendiente en el origen de la curva carga (F)-asentamiento (y), obtenida en los ensayos, en N/mm

Si no se realizan ensayos, los valores de E_1 y E_2 pueden tomarse de la tabla de abajo en función del grado de compactación especificado para el relleno y según el tipo de suelo.

Se puede tomar $E_1 = E_2$ cuando el material y la compactación del relleno en ambas zonas sea la misma. Referente a los valores de E_3 y E_4 , deberían escogerse de acuerdo con las condiciones reales del terreno de la zanja. En caso de conocerse dichos valores, puede considerarse $E_3 = E_2$ y en las instalaciones bajo terraplén, se supondrá $E_1 = E_2 = E_3$.

Para suelos normales, el valor de E_4 podría obtenerse a partir de la tabla siguiente.

Módulo de compresión E_s (N/mm ²)						
Grupo de suelo	Compactación Proctor normal en %					
	85	90	92	95	97	100
1	2.5	6	9	16	23	40
2	1.2	3	4	8	11	20
3	0.8	2	3	5	8	14
4	0.6	1.5	2	4	6	10

2.2.3.2.3 Acciones por sobrecarga

Existen determinadas presiones verticales ejercidas sobre las tuberías que se pueden dividir de la siguiente forma:

- Sobrecargas concentradas: son originadas por las cargas de tráfico puntuales localizadas en las ruedas. Para la cual, habría que conocer principalmente el valor de la sobrecarga concentrada, P_c , en kN.

Nº	Símbolo	Carga total (t)	Nº ejes	a (m)	b (m)	Carga por rueda (P_c) (kN)	
						Delantera	Trasera
1	LT 12	12	2	2	3	20	40
2	HT 26	26	2	2	3	65	65
3	HT 39	39	3	2	1,5	65	65
4	HT 60	60	3	2	1,5	100	100

* (1t equivale a 10.000 N)

- Altura de tierras por encima de la generatriz superior del tubo, H , en metros. Si el tubo está instalado bajo una zona pavimentada, se utiliza la altura equivalente, H_e (ver apartado 3.4.3 de la norma UNE 53331).

2.2.3.2.4 Acciones debidas al nivel freático

La acción del nivel freático en una instalación es menor que las acciones mencionadas anteriormente, la influencia sobre la resistencia y la deformación en una zanja es mínima si se compara con otros parámetros de instalación.

2.2.3.2.5 Casos prácticos

Un aspecto a considerar por la acción de niveles freáticos elevados es la flotabilidad de la tubería debido a fuerzas hidrostáticas y de levantamiento, para ello habrá que dimensionar e instalar lastres de hormigón para contrarrestar dicho esfuerzo.

CASO PRÁCTICO nº1.

Dada una conducción de tubería de PVC-O TOM® DN250 PN16 cuya presión de servicio es 13 bar, comprobar que la instalación es válida tanto para una instalación en terraplén (talud vertical) como en zanja talud 1:1 para distintas alturas de zanja, dada las siguientes características:

- Nivel freático: 0 m
- Apoyo: Tipo A, cama continua de material granular ($2\alpha = 90^\circ$)
- Relleno: Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja. Peso específico del terreno: 20 kN/ m³
- Tipo de terreno Poco Cohesivo: Gravas y arcillas poco arcillosas o limosas. Porcentaje de finos (diámetro $\Phi \leq 0,06$ m, entre el 5% y el 15%). Arenas de miga, compactado en toda la zanja.
- Compactaciones (proctor normal): E_1 y $E_2 = 100\%$; E_3 y $E_4 = 97\%$.
- Dimensiones de la instalación en terraplén:
 - Cama de apoyo: 0,13 m
 - Ancho de zanja (B): 1,0 m

- Dimensiones de la instalación en zanja:
 - Cama de apoyo: 0,13 m
 - β : 45° (talud 1:1)
 - Ancho de zanja (B): 1,5 m
- Sobrecargas: Vehículo de 3 ejes y 39 toneladas.

Tipo de terreno Roca fragmentada.

CÁLCULO MECÁNICO (SEGÚN UNE-53331) - TUBERÍAS TOM® PVC-O DN250 PN16 / TALUD VERTICAL

CONDICIONES GENERALES

Tubo en TERRAPLEN
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)

Presiones		
Presión exterior del agua (Pe)	0,0	bar
Presión servicio (Pi)	13,0	bar

Apoyo Tipo A: cama continua de material granular		
2· α	90	°

Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja		
Peso específico Terreno	20	kN/m³

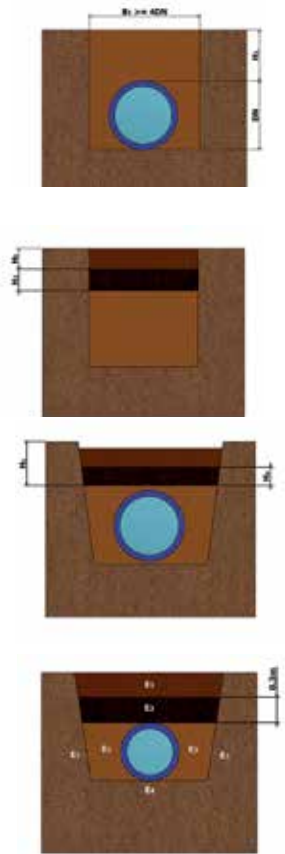
Tipo de terreno		
Poco Cohesivo: Gravas y arcillas poco arcillosas o limosas. Porcentaje de finos (diámetro $\leq 0,06$ mm , entre el 5% y el 15%. Arenas de miga, compactado en toda la zanja		

Compactaciones (protor normal)		
E ₁ ; E ₂	100%	
E ₃ ; E ₄	97%	

Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja:
 El relleno se hará por capas apisonadas de espesor no superior a 15 cm manteniendo constante la altura a ambos lados del tubo hasta alcanzar la coronación de este, la cual debe quedar vista. Seguidamente se rellenará hasta 30 cm por encima de la coronación apisonando con pistón ligero a ambos lados del tubo y no en todo lo ancho de la proyección de este. Por último, se continúa el relleno en capas compactadas no superior a 20 cm

Sobrecargas		
Vehículo de 3 ejes y 39 toneladas		

DIMENSIONES DE ZANJA		
Cama de apoyo	0,13	m
Ancho de la zanja (B) según norma	1,0	m



		Zona sin pavimentar					Zona pavimentada (h ₁ aglomerado Ef= 20000 N/mm ² - capa de 10 cm ; h ₂ zahorra Ef= 15000 N/mm ² - capa de 15 cm)				
TOM® DN250 PN16	H1 (m)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
PRESIONES VERTICALES											
Debida a las tierras (qv)	kN/m ²	15,72	23,21	30,68	38,14	45,60	15,72	23,21	30,68	38,14	45,60
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m ²	35,82	23,42	18,34	15,11	12,64	12,09	10,20	8,65	7,40	6,37
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m ²	51,54	46,63	49,02	53,25	58,24	27,81	33,41	39,33	45,54	51,97
DEFORMACION (dv)											
Deformación < 5 %	kN/m ²	12,72	18,52	24,28	30,03	35,77	12,72	18,52	24,28	30,03	35,77
PRESIONES LATERAL											
Presión lateral de las tierras (qht)	%	1,04%	0,86%	0,83%	0,85%	0,89%	0,49%	0,54%	0,61%	0,67%	0,75%
COEF. SEGURIDAD ROTURA											
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura > 2,5)	-	2,42	2,83	3,03	3,15	3,24	3,37	3,46	3,51	3,56	3,60
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura > 2,5)	-	23,07	9,87	8,09	7,30	6,82	6,29	6,04	5,86	5,74	5,65
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura > 2,5)	-	2,23	2,57	2,73	2,80	2,85	3,14	3,17	3,19	3,19	3,17
RESULTADO											
Presión lateral de las tierras (qht)	-	Inst. No Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida

CÁLCULO MECÁNICO (SEGÚN UNE-53331) - TUBERÍAS TOM® PVC-O DN250 PN16 / TALUD 1:1

CONDICIONES GENERALES

Tubo en ZANJA

Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)

Presiones

Presión exterior del agua (Pe)	0,0	bar
Presión servicio (Pi)	13,0	bar

Apoyo Tipo A: cama continua de material granular

2 · α	90	°
-------	----	---

Relleno

Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja

Peso específico Terreno	20	kN/m ³
-------------------------	----	-------------------

Tipo de terreno

Poco Cohesivo: Gravas y arcillas poco arcillosas o limosas. Porcentaje de finos (diámetro ≤ 0,06 mm, entre el 5% y el 15%).

Compactaciones (protor normal)

E ₁ ; E ₂	100%
---------------------------------	------

E ₃ ; E ₄	97%
---------------------------------	-----

Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja:
El relleno se hará por capas apisonadas de espesor no superior a 15 cm manteniendo constante la altura a ambos lados del tubo hasta alcanzar la coronación de este, la cual debe quedar vista. Seguidamente se rellenará hasta 30 cm por encima de la coronación apisonando con pistón ligero a ambos lados del tubo y no en todo lo ancho de la proyección de este. Por último, se continúa el relleno en capas compactadas no superior a 20 cm

Sobrecargas

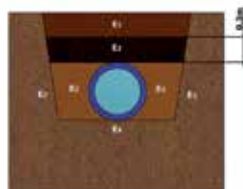
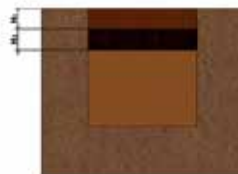
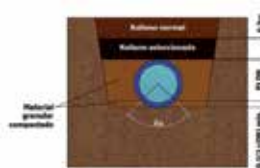
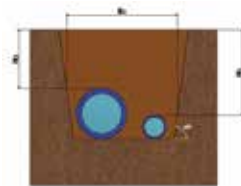
Vehículo de 3 ejes y 39 toneladas	
-----------------------------------	--

DIMENSIONES DE ZANJA

Cama de apoyo	0,13	m
---------------	------	---

Beta	45	°
------	----	---

Ancho de la zanja (B) aconsejado	1,5	m
----------------------------------	-----	---



		Zona sin pavimentar					Zona pavimentada (h1 aglomerado Ef= 20000 N/mm² - capa de 10 cm ; h² zahorra Ef= 15000 N/mm² - capa de 15 cm)				
TOM® DN250 PN16	H1 (m)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
PRESIONES VERTICALES											
Debida a las tierras (qv)	kN/m²	14,13	20,02	25,50	30,64	35,51	14,13	20,02	25,50	30,64	35,51
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m²	35,82	23,42	18,34	15,11	12,64	12,09	10,20	8,65	7,40	6,37
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m²	49,95	43,44	43,84	45,75	48,15	26,22	30,22	34,15	38,04	41,88
DEFORMACION (dv)											
Deformación < 5%	kN/m²	11,45	15,95	20,13	24,04	27,75	11,45	15,95	20,13	24,04	27,75
PRESIÓN LATERAL											
Presión lateral de las tierras (qht)	%	0,92%	0,73%	0,69%	0,68%	0,68%	0,42%	0,45%	0,48%	0,51%	0,55%
COEF. SEGURIDAD ROTURA											
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura > 2,5)	-	2,44	2,83	3,05	3,17	3,30	3,38	3,47	3,54	3,60	3,65
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura > 2,5)	-	22,64	9,74	7,92	7,14	6,64	6,27	5,99	5,79	5,63	5,52
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura > 2,5)	-	2,23	2,60	2,76	2,87	2,94	3,15	3,21	3,24	3,26	3,28
RESULTADO											
Presión lateral de las tierras (qht)	-	Inst. No Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida	Inst. Válida

CASO PRÁCTICO nº2.

Dadas dos conducciones de tubería de PVC-O TOM® DN400 y DN315 PN16 cuya presión de servicio es 5 bar, comprobar que la instalación es válida para una instalación en zanja talud 1:2, para distintos tipos de terreno, alturas de zanja (H1) y ángulos de apoyo (2-α) , según las características siguientes:

- Nivel freático: 0 m
- Apoyo: Tipo A, cama continua de material granular
- Relleno: Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja. Peso específico del terreno: 20 kN/ m³
- Compactaciones (proctor normal): E1 = 100% ; y E2 ,E3 y E4 = 95% .
- Dimensiones de la instalación en zanja:
 - Cama de apoyo: 0,13 m
 - β: 63º (talud 1:2)
 - Ancho de zanja (B): 2,0 m

CÁLCULO MECÁNICO (SEGÚN UNE-53331) - TUBERÍAS TOM® PVC-O DN400/DN315 PN16

CONDICIONES GENERALES

Tubo en ZANJA

Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)

Presiones

Presión exterior del agua (Pe)	0,0	bar
Presión servicio (Pi)	5,0	bar

Relleno

Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja

Peso específico Terreno	20	kN/m ³
-------------------------	----	-------------------

Tipo de terreno

Poco Cohesivo: Gravas y arcillas poco arcillosas o limosas. Porcentaje de finos (diámetro $\leq 0,06$ mm , entre el 5% y el 15%). Arenas de miga, compactado en toda la zanja

Compactaciones (protor normal)

E ₁	100%
E ₂	95%
E ₃ , E ₄	95%

Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja:

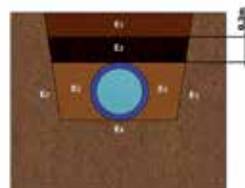
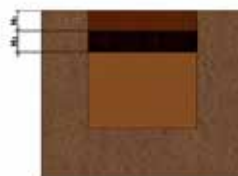
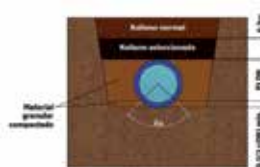
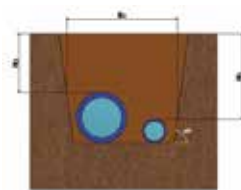
El relleno se hará por capas apisonadas de espesor no superior a 15 cm manteniendo constante la altura a ambos lados del tubo hasta alcanzar la coronación de este, la cual debe quedar vista. Seguidamente se rellenará hasta 30 cm por encima de la coronación apisonando con pistón ligero a ambos lados del tubo y no en todo lo ancho de la proyección de este. Por último, se continúa el relleno en capas compactadas no superior a 20 cm

Sobrecargas

Ninguna (sin tráfico)

DIMENSIONES DE ZANJA

Cama de apoyo	0,13	m
Talud	1:2	
Beta	63	°
Ancho de la zanja (B)	2,0	m



PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular 2α: 60° SIN TRÁFICO G1: No cohesivo					
		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
Altura H1 (m)		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0
PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m²	14,75	14,84	35,25	35,24	50,10	49,99
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m²	14,75	14,84	35,25	35,24	50,10	49,99
PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m²	10,65	10,82	24,31	24,36	34,15	34,06
DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	0,21%	0,22%	0,50%	0,51%	0,69%	0,71%
COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	10,05	9,68	9,40	9,07	8,96	8,59
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	13,72	13,92	15,80	16,10	17,75	18,18
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	7,76	7,39	5,95	5,69	5,08	4,88
RESULTADO	-	Inst. válida		Inst. válida		Inst. válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular 2α: 60° SIN TRÁFICO G2: Poco cohesivo					
		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
Altura H1 (m)		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0
PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m²	15,33	15,44	37,59	37,62	54,19	54,13
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m²	15,33	15,44	37,59	37,62	54,19	54,13
PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m²	13,44	13,67	32,05	32,26	45,87	46,00
DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	0,42%	0,43%	0,99%	1,02%	1,43%	1,45%
COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	9,86	9,52	8,98	8,68	8,43	8,16
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	13,88	14,06	16,32	16,57	18,80	19,12
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	7,60	7,23	5,65	5,42	4,76	4,58
RESULTADO	-	Inst. válida		Inst. válida		Inst. válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular 2α: 60° SIN TRÁFICO G3: Medianamente cohesivo					
		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
Altura H1 (m)		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0
PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m ²	15,81	15,98	39,78	40,01	58,32	58,55
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m ²	15,81	15,98	39,78	40,01	58,32	58,55
PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m ²	15,71	15,96	38,96	39,28	56,89	57,20
DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	0,69%	0,70%	1,71%	1,73%	2,50%	2,51%
COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	9,55	9,37	8,34	8,19	7,59	7,46
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	14,31	14,80	18,00	18,78	22,51	23,76
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	7,35	7,16	5,30	5,19	4,35	4,28
RESULTADO	-	Inst. válida		Inst. válida		Inst. válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular 2α: 60° SIN TRÁFICO G4: Cohesivo					
		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
Altura H1 (m)		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0
PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m ²	15,63	15,84	40,08	40,38	59,77	60,07
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m ²	15,63	15,84	40,08	40,38	59,77	60,07
PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m ²	17,31	17,57	44,02	44,38	65,49	65,85
DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	0,91%	0,92%	2,31%	2,33%	3,44%	3,46%
COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	9,32	9,14	7,87	7,75	6,99	6,91
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	14,62	15,13	19,45	20,39	26,50	28,32
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	7,25	7,05	5,10	4,99	4,11	4,04
RESULTADO	-	Inst. válida		Inst. válida		Inst. válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continúa de material granular 2α: 90º SIN TRÁFICO G1: No cohesivo					
		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
Altura H1 (m)		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0
PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m²	15,39	15,53	36,96	37,13	52,59	52,75
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m²	15,39	15,53	36,96	37,13	52,59	52,75
PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m²	10,91	11,13	25,31	25,58	35,69	35,94
DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	0,19%	0,19%	0,44%	0,44%	0,62%	0,62%
COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	10,18	10,00	9,59	9,45	9,21	9,07
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	13,44	13,79	15,06	15,51	16,49	17,07
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	8,91	8,69	7,53	7,37	6,78	6,66
RESULTADO	-	Inst. válida		Inst. válida		Inst. válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continúa de material granular 2α: 90º SIN TRÁFICO G2: Poco cohesivo					
		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
Altura H1 (m)		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0
PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m²	15,87	16,02	39,13	39,32	56,49	56,67
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m²	15,87	16,02	39,13	39,32	56,49	56,67
PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m²	13,29	13,49	32,06	32,33	46,03	46,29
DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	0,37%	0,37%	0,90%	0,90%	1,28%	1,29%
COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	9,91	9,75	9,03	8,87	8,46	8,34
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	13,72	14,10	35,76	16,49	18,19	18,89
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	8,69	8,46	11,66	6,98	6,24	6,14
RESULTADO	-	Inst. válida		Inst. válida		Inst. válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular 2α: 90° SIN TRÁFICO G3: Medianamente cohesivo					
		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
Altura H1 (m)		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0

PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m ²	16,27	16,42	41,19	41,39	60,47	60,67
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m ²	16,27	16,42	41,19	41,39	60,47	60,67

PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m ²	15,25	15,44	38,15	38,40	55,83	56,08

DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	0,61%	0,62%	1,54%	1,55%	2,26%	2,27%

COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	9,55	9,39	8,28	8,14	7,50	7,39
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	14,24	14,67	18,03	18,75	22,72	23,90
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	8,39	8,18	6,57	6,44	5,62	5,53

RESULTADO	-	Inst. válida	Inst. válida	Inst. válida
-----------	---	--------------	--------------	--------------

PVC-O PN16		AApoyo Tipo A: cama continua de material granular 2α: 90° SIN TRÁFICO G4: Cohesivo					
		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
Altura H1 (m)		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0

PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m ²	16,13	16,32	41,65	41,91	62,21	62,48
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m ²	16,13	16,32	41,65	41,91	62,21	62,48

PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m ²	16,74	16,96	42,93	43,22	64,00	64,30

DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	0,81%	0,83%	2,10%	2,11%	3,13%	3,14%

COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	9,28	9,12	7,75	7,62	6,83	6,74
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	14,65	15,13	20,05	21,00	28,55	30,48
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	8,18	7,98	6,21	6,10	5,21	5,12

RESULTADO	-	Inst. válida	Inst. válida	Inst. válida
-----------	---	--------------	--------------	--------------

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continúa de material granular 2α: 120º SIN TRÁFICO G1: No cohesivo					
		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
Altura H1 (m)		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0
PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m²	16,24	16,37	40,22	40,38	58,12	58,28
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m²	16,24	16,37	40,22	40,38	58,12	58,28
PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m²	12,88	13,05	31,34	31,56	45,08	45,29
DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	0,33%	0,34%	0,82%	0,82%	1,18%	1,18%
COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	10,02	9,87	9,18	9,03	8,64	8,52
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	13,49	13,85	15,49	15,96	17,42	18,02
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	9,45	9,23	8,28	8,12	7,59	7,46
RESULTADO	-	Inst. válida		Inst. válida		Inst. válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continúa de material granular 2α: 120º SIN TRÁFICO G2: Poco cohesivo					
		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
Altura H1 (m)		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0
PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m²	16,24	16,37	40,22	40,38	58,12	58,28
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m²	16,24	16,37	40,22	40,38	58,12	58,28
PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m²	12,88	13,05	31,34	31,56	45,08	45,29
DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	0,33%	0,34%	0,82%	0,82%	1,18%	1,18%
COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	10,02	9,87	9,18	9,03	8,64	8,52
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	13,49	13,85	15,49	15,96	17,42	18,02
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	9,45	9,23	8,28	8,12	7,59	7,46
RESULTADO	-	Inst. válida		Inst. válida		Inst. válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular 2α: 120° SIN TRÁFICO G3: Medianamente cohesivo					
Altura H1 (m)		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0
PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m ²	16,60	16,73	42,21	42,39	62,03	62,21
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m ²	16,60	16,73	42,21	42,39	62,03	62,21
PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m ²	14,62	14,78	36,80	37,01	53,94	54,14
DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	0,56%	0,57%	1,42%	1,43%	2,09%	2,09%
COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	9,62	9,48	8,34	8,21	7,55	7,46
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	14,10	14,49	17,82	18,46	22,40	23,44
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	9,07	8,89	7,57	7,42	6,69	6,60
RESULTADO	-	Inst. válida		Inst. válida		Inst. válida	

PVC-O PN16		AApoyo Tipo A: cama continua de material granular 2α: 120° SIN TRÁFICO G4: Cohesivo					
Altura H1 (m)		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0
PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m ²	16,50	16,67	42,81	43,04	64,02	64,26
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m ²	16,50	16,67	42,81	43,04	64,02	64,26
PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m ²	16,02	16,20	41,33	41,57	61,71	61,95
DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	0,75%	0,76%	1,94%	1,95%	2,90%	2,91%
COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	9,32	9,16	7,71	7,62	6,78	6,71
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	14,60	15,03	20,31	21,18	29,64	31,56
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	8,80	8,62	7,05	6,92	6,06	5,98
RESULTADO	-	Inst. válida		Inst. válida		Inst. válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continúa de material granular 2α: 120º CON TRÁFICO LIGERO - VEHÍCULO DE 2 EJES, CARGA 12 TN SIN PAVIMENTAR G4: Cohesivo					
		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
Altura H1 (m)		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0
PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m²	16,50	16,66	42,81	43,04	64,02	64,26
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m²	24,10	23,83	5,27	5,27	2,86	2,85
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m²	40,60	40,49	48,08	48,31	66,88	67,11
PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m²	16,02	16,20	41,33	41,57	61,71	61,95
DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	2,00%	2,00%	2,22%	2,23%	3,05%	3,06%
COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	4,62	4,60	6,51	6,44	6,24	6,17
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	23,79	23,49	39,95	43,35	48,50	53,76
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	4,37	4,35	5,98	5,90	5,60	5,53
RESULTADO	-	Inst. válida		Inst. válida		Inst. válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continúa de material granular 2α: 120º CON TRÁFICO LIGERO - VEHÍCULO DE 3 EJES, CARGA 60 TN SIN PAVIMENTAR G4: Cohesivo					
		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
Altura H1 (m)		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0
PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m²	16,50	16,69	42,81	43,04	64,02	64,26
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m²	54,77	54,24	19,44	19,43	10,17	10,17
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m²	71,27	70,93	62,25	62,47	74,19	74,43
PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m²	16,02	16,20	41,33	41,57	61,71	61,95
DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	3,59%	3,57%	2,95%	2,96%	3,43%	3,44%
COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	2,81	2,82	4,60	4,56	5,17	5,12
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	5,47	5,49	25,08	23,97	77,61	67,36
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	2,67	2,67	4,26	4,22	4,69	4,63
RESULTADO	-	Inst. válida		Inst. válida		Inst. válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular 2α: 120º CON TRÁFICO LIGERO - VEHÍCULO DE 3 EJES, CARGA 60 TN PAVIMENTADO h1 aglomerado Ef= 20000 N/mm² - capa de 10 cm; h2 zahorra Ef= 15000 N/mm² - capa de 15 cm G4: Cohesivo					
Altura H1 (m)		DN315	DN400	DN315	DN400	DN315	DN400
		1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0
PRESIONES VERTICALES							
Debida a las tierras (qv)	kN/m²	16,50	16,66	42,81	43,04	64,03	64,26
Debida a sobrecargas concentradas (Pvc)	kN/m²	15,41	15,41	8,37	8,37	5,07	5,07
Debida a sobrecargas repartidas (Pvr)	kN/m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (qvt)	kN/m²	31,91	32,07	51,18	51,41	69,10	69,33
PRESIÓN LATERAL							
Presión lateral de las tierras (qht)	kN/m²	16,02	16,20	41,33	41,57	61,71	61,95
DEFORMACIÓN (dv)							
Deformación <5%	%	1,55%	1,56%	2,38%	2,39%	3,17%	3,18%
COEF. SEGURIDAD ROTURA							
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura >2,5)	-	5,64	5,58	5,98	5,90	5,87	5,81
Coef. Seguridad en riñones (Coeficiente de rotura >2,5)	-	452,71	247,70	92,21	112,56	95,46	118,00
Coef. Seguridad en base (Coeficiente de rotura >2,5)	-	5,35	5,28	5,49	5,42	5,30	5,22
RESULTADO							
		-	Inst. válida	Inst. válida	Inst. válida	Inst. válida	

CONCLUSIONES DE LOS CASOS PRÁCTICOS.

Influencia de los parámetros de instalación en zanja y terraplén.

Parámetro	Resistencia (esfuerzo)	Deformación	Importancia
H1	+	+	√√
B1	+	+	√
Presión de servicio	+	-	√√√√
Tráfico / Pavimento	+	+	√√√√
Nivel freático	+	+	√√
A (2α)	+	-	√
Tipo de terreno/Compactación	+	+	√√√√
Tipo de tubo (DN, e y material)	+	+	√√√

2.2.4 Instalaciones aéreas

La instalación aérea de las tuberías TOM® se realiza sobre apoyos de hormigón independiente si se encuentra en un recinto cerrado o al descubierto. Dichos apoyos de hormigón serán dispuestos con una cuna de asiento de la tubería, la cual abarcará a dicho tubo en un arco de entre 120º y 180º. Las uniones de los tubos y las piezas especiales (codos, té, válvulas, etc.) deberán quedar al descubierto para permitir el montaje y desmontaje de las mismas. Respecto a la distancia entre dichos apoyos, se recomienda disponer de dos apoyos por tubo.

Un punto importante a considerar para garantizar la buena instalación aérea, y dado que la unión de la tubería TOM® aguanta el efecto axial causado por la presión interna, es seguir las instrucciones de montaje según se describen en el manual.

Por último, y como consecuencia de las variaciones de temperatura en el exterior, habrá que considerar las posibles variaciones de longitud. Para su cálculo, se utiliza la siguiente expresión:

$$\Delta L = k \cdot L \Delta T \cdot 10^3$$

Donde:

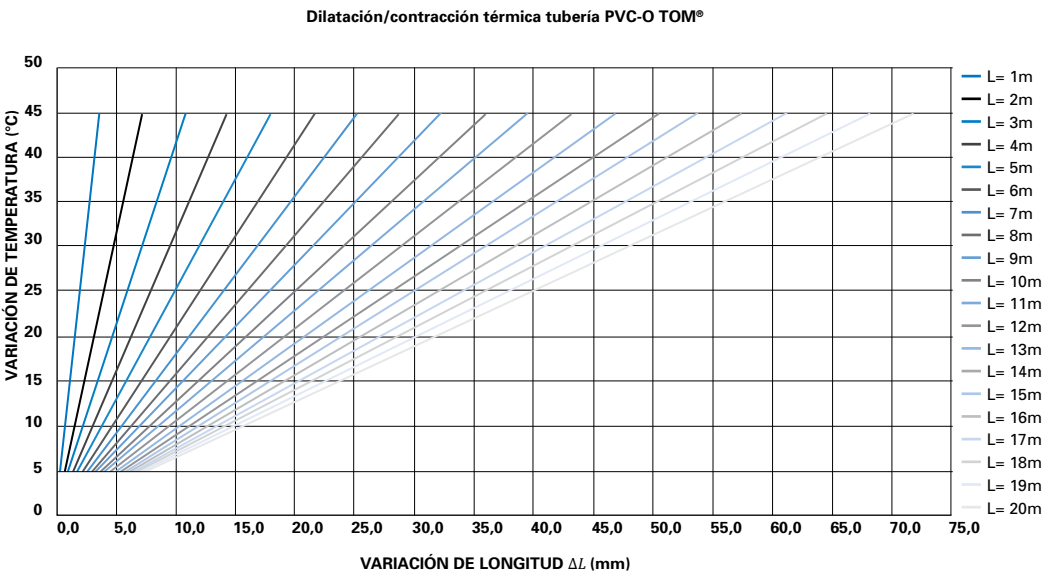
ΔL : Variación en longitud, en mm

k : Coeficiente de dilatación lineal del PVC-O es aproximadamente $7 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

L : Longitud inicial del tubo, en m

ΔT : es el cambio de temperatura de la pared del tubo, en grados Celsius o Kelvin

La dilatación por cambios de temperatura de 5 a 45 °C y longitudes de tubo de 1 a 20 m se indican en la figura siguiente:



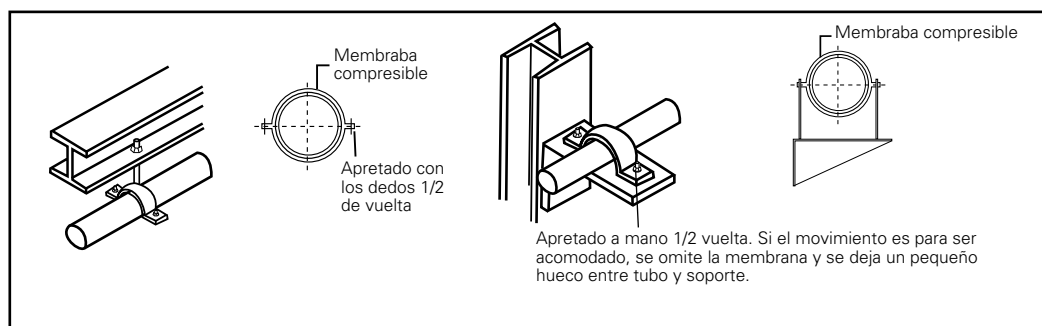
	Coef. 1/°C	Long. Total mm	Dilat. por cada °C mm/°C	20°C mm	40°C mm	60°C mm
PE	2,20E-04	6000	1,320	26,400	52,800	79,200
PRFV	3,00E-05	6000	0,180	3,600	7,200	10,800
PVC	8,00E-05	6000	0,480	9,600	19,200	28,800
PVC-O	8,00E-05	6000	0,480	9,600	19,200	28,800

Igualmente, se podría realizar la instalación de la tubería TOM® por medio de abrazaderas hechas con un material suficientemente rígido e incluyendo un caucho entre abrazadera y tubo para protegerlo.

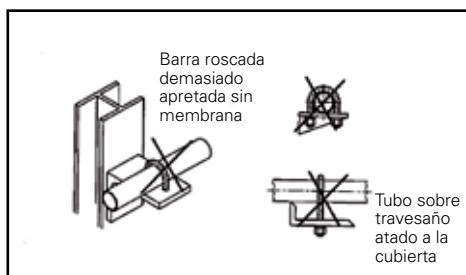
Hay que minimizar las desalineaciones de elementos como codos, reducciones, derivaciones,... y brindar un apoyo a todas las partes para garantizar la estabilidad de la tubería. El apoyo de los soportes de las tuberías deberá ser suave y liso, sin cantos afilados que pudieran hincarse en la superficie del tubo.

Hay muchas maneras de soportar la tubería TOM® tanto en vertical como en horizontal manteniendo un ángulo de apoyo de 150° y una anchura mínima en función del diámetro de la tubería.

A continuación, se indican tipos de soportes recomendados y no recomendados:



Soportes recomendados



Soportes no recomendados

Ejemplos de instalación aérea de una tubería de PVC-O TOM®:



La resistencia a los rayos ultravioletas de las tuberías TOM® de PVC-O se estudiarán en el apartado 4.4.

2.3 Trazado y perfil planta

2.3.1 Cambio de dirección y bifurcaciones

En una red de transporte de agua, es necesario, para trazar el perfil de la conducción y para llegar a los distintos puntos de demanda el uso de accesorios en los cambios de dirección y bifurcaciones.

La tubería de PVC-O TOM® se adapta fácilmente a cualquier tipo de accesorio específico para tuberías de PVC ó PVC-O de los distintos materiales disponibles (fundición dúctil, PVC o acero).

Los accesorios de uso más común son los siguientes:

- Para cambios de dirección: El elemento más utilizado es el codo. Y que por definición es un accesorio que se instala entre dos tubos de igual o diferente diámetro. Y que permite un cambio de dirección del flujo. Pueden ser de fundición dúctil o PVC y con conexión enchufe o autoblocante.
- Para bifurcaciones: Los elementos más utilizados son las tes y collarines. Por definición, una te es un accesorio que se utiliza para conectar y separar el flujo del fluido, siendo el diámetro de su bifurcación igual a los de los otros dos tubos, o bien siendo un tramo de tubería principal y una pequeña bifurcación de tubo, en este caso, los dos tubos de tamaño más grandes son la tubería principal y el tubo más pequeño es la bifurcación del tubo. Pueden ser de fundición dúctil o PVC y con conexión enchufe o autoblocante. Un collarín es un accesorio que permite la conexión entre dos tuberías.

Existen también soluciones a medida para la tubería de PVC-O TOM®, que son accesorios en acero inoxidable para codos y tes, utilizados principalmente para grandes diámetros.

2.3.2 Desviaciones angulares y curvatura del tubo

Desviación angular permitida en la copa.

Además de la curvatura del tubo, está permitida una desviación angular en la unión entre tubos. Por lo que en el trazado de las tuberías se pueden sumar ambos efectos.

Es importante que al realizar la curvatura del tubo no se superen los valores establecidos de desviación angular en la copa-enchufe.



DN	DESVIACIÓN ANGULAR MÁXIMA	DESPLAZAMIENTO ENTRE COPAS
(mm)	ángulo (°)	D (mm) ⁽¹⁾
90-800	2	200

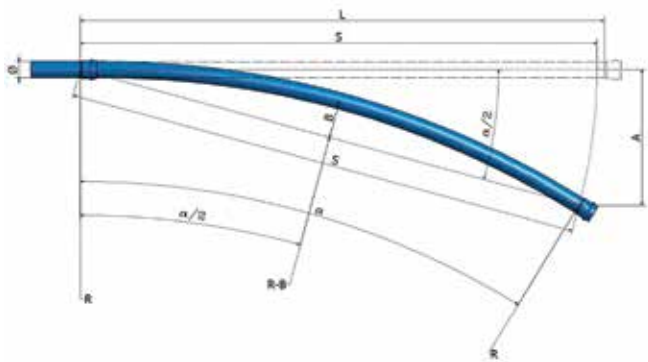
(1) Tubos de 5,95 metros de longitud total.

Las uniones de la tubería pueden ser sometidas a mayores desviaciones angulares si son sometidas a esfuerzos altos. No se recomiendan superar esos límites para no comprometer los coeficientes de seguridad de dichas uniones sometidas a presión.

2

Curvatura del tubo en frío (23°C).

Las tuberías se podrán curvar en zanja en frío (temperatura ambiente aproximada de 23°C) hasta los límites determinados en la siguiente tabla. Estas curvaturas se deberán de hacer siempre en frío (sin calentar ninguna parte de la tubería o de la copa) mediante esfuerzos manuales (se podrán utilizar elementos simples de ayuda en caso de los tubos de DN>250) y sin dañar la geometría de los enchufes.



		CURVATURA DEL TUBO			DESVIACIÓN ANGULAR DE LA COPA	CURVATURA + DESVIACIÓN ANGULAR (ÁNGULO TOTAL)		
DN	L	R	$\alpha/2$	A	Ángulo	R'	$\alpha'/2$	A
mm	m	m	grados	m	grados	m	grados	m
90	5,78	18	9,2	0,92	2	15	11,2	1,12
110	5,78	22	7,5	0,75	2	17	9,5	0,95
140	5,76	28	5,9	0,59	2	21	7,9	0,79
160	5,75	32	5,1	0,52	2	23	7,1	0,71
200	5,73	40	4,1	0,41	2	27	6,1	0,61
225	5,70	45	3,6	0,36	2	29	5,6	0,56
250	5,68	50	3,3	0,32	2	31	5,3	0,52
315	5,63	63	2,6	0,25	2	35	4,6	0,45
355	5,61	71	2,3	0,22	2	38	4,3	0,42
400	5,58	80	2,0	0,19	2	40	4,0	0,39
450	5,56	90	1,8	0,17	2	42	3,8	0,37
500	5,58	100	1,6	0,16	2	44	3,6	0,35
630	5,53	126	1,3	0,12	2	49	3,3	0,31
800	5,42	160	1,0	0,09	2	52	3,0	0,28

Las tuberías pueden ser sometidas a mayores curvaturas con esfuerzos altos, pero no se recomienda superar estos límites para no comprometer los coeficientes de seguridad de cálculo de la tubería.

Contraesfuerzos producidos por la curvatura del tubo.

La tubería sometida a un curvado viene a comportarse como una curva de ángulo reducido, ello significa que se producen unas contrapresiones sobre el terreno según la siguiente tabla. Estas contrapresiones en condiciones normales, pueden ser soportadas por el terreno suficientemente compactado, en caso contrario si fuese necesario, en curvaturas excesivas se debe que apoyar con anclajes (ver apartado 2.2.2.1 anclajes de hormigón).

ESFUERZOS EN UN TUBO CURVADO EN ($\alpha/2$) ⁽²⁾						
	BAR	BAR	BAR	BAR	BAR	BAR
DN	1	5	10	15	20	25
mm	kN	kN	kN	kN	kN	kN
90	0,10	0,51	1,02	1,53	2,04	2,55
110	0,12	0,62	1,25	1,87	2,49	3,12
140	0,16	0,79	1,58	2,37	3,17	3,96
160	0,18	0,90	1,81	2,71	3,61	4,51
200	0,22	1,12	2,25	3,37	4,50	5,62
225	0,25	1,26	2,52	3,78	5,04	6,29
250	0,28	1,39	2,79	4,18	5,58	6,97
315	0,35	1,74	3,48	5,22	6,96	8,70
355	0,39	1,96	3,91	5,87	7,82	9,78
400	0,44	2,19	4,38	6,57	8,76	10,96
450	0,49	2,46	4,91	7,37	9,82	12,28
500	0,55	2,74	5,48	8,22	10,96	13,69
630	0,68	3,42	6,84	10,26	13,68	17,10
800	0,85	4,26	8,51	12,77	17,03	21,28

(2) Esfuerzos en cada tubo de 5,95 metros.

2.3.3. Caso práctico

Dados los siguientes trazados de una red de distribución de agua potable, proyectada con tubería PVC-O TOM® en DN250 y DN110 PN16, indicar el número y tipos de codos que habría que utilizar.

1. Trazado con tubería PVC-O TOM® DN250 PN16.



2

Solución:

- Cambio de dirección n°1 ($\alpha = 39^\circ$):

1 Codo $22,5^\circ$ + 1 Codo $11,25^\circ$ + Curvatura y desviación total de un tubo DN250 PVC-O TOM® $(5,3^\circ) = 39,05^\circ \sim 39^\circ$.

- Cambio de dirección n°2 ($\alpha = 16^\circ$):

1 Codo $11,25^\circ$ + Curvatura y desviación total de un tubo DN250 PVC-O TOM® $(5,3^\circ) = 16,55^\circ \sim 16^\circ$.

- Cambio de dirección n°3 ($\alpha = 26^\circ$):

1 Codo $22,5^\circ$ + Curvatura y desviación total de un tubo DN250 PVC-O TOM® $(5,3^\circ) = 27,80^\circ \sim 26^\circ$.

2. Trazado con tubería PVC-O TOM® DN110 PN16.



Solución:

- Cambio de dirección n°4 ($\alpha = 54^\circ$):

1 Codo 45° + Curvatura y desviación total de un tubo DN110 PVC-O TOM® $(9,5^\circ) = 54,50^\circ \sim 54^\circ$.

- Cambio de dirección n°5 ($\alpha = 9^\circ$):

No hace falta ningún codo. Curvatura y desviación total de un tubo DN110 PVC-O TOM® $(9,5^\circ) = 9,50^\circ \sim 9^\circ$.

Recomendaciones de





utilización

3



3.1. Transporte, almacenamiento y manipulación

Transporte

Ante todo mencionar que el transporte de tubos se debe realizar conforme a las normas vigentes de tráfico. Para optimizar el transporte, se recomienda seguir las siguientes pautas:

- Si se van a transportar diferentes diámetros en un mismo envío, colocar primero los diámetros mayores en la parte baja. Se utilizarán cunas de madera, cuyas características variarán en función del diámetro nominal de la tubería.
- Dejar libres las copas, alternando copas y cabos.



A continuación, se indica la gama de embalaje de nuestra tubería TOM®:

DN (mm)	Tubos/ Palet	Palet/ Camión	Tubos/ Camión	Metros ⁽¹⁾ / Camión	Anchura Palet (mm)	Kg/Palet		
						PN16	PN20	PN25
90	69	16	1104	6569	1200	540	550	670
110	76	12	912	5426	1200	750	790	980
140	39	12	468	2785	1100	610	650	800
160	28	12	336	1999	1100	560	610	760
200	18	12	216	1285	1100	540	610	760
225	11	12	132	785	1050	450	610	600
250	11	12	132	785	1100	510	590	730
315	13	8	92 - 104	547 - 619	2300	960	1100	1350
400	9	6	54	321	2100	1070	1250	1500
500	4	8	32	190	2300	750	900	1050
630	3	6	18	107	1900	900	1050	1250

(1) Metros nominales (5,95 metros por tubo). Para obtener los metros efectivos se debe restar la longitud de embocadura. Otros embalajes o longitudes, consultar.

Durante la recepción de los tubos habrá que controlar el estado de los mismos.

Manipulación.

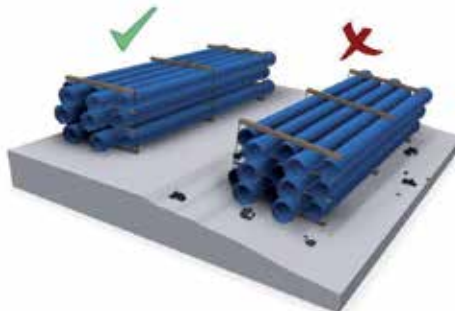
Se recomienda realizar la descarga desde el camión con la ayuda de eslingas planas. Después para las operaciones de carga y descarga de los tubos de diámetros superiores a DN315 se realizará mediante equipos mecánicos y para diámetros inferiores a DN315 por medios manuales.



Almacenamiento.

Para un correcto almacenamiento se aconseja lo siguiente:

- Almacenar los tubos horizontalmente en una zona plana sobre apoyos colocados cada 1,5 metros para evitar la posible flexión del producto.
- No apilar a más de 1,5 metros de altura.
- Las copas deben quedar libres, intercalando copas y cabos.
- En caso de exposición prolongada al sol, proteger los palés con un material opaco (uso de lonas).



3.2 Instalación

Excavación.

Todas las piedras que se encuentren en la pared de la excavación deberán de ser retiradas puesto que estas podrían caer sobre la cama de arena (*Ver fotos de 1.1 a 1.4*).

Se deberá de quitar del fondo de la excavación cuerpos duros como piedras, desperdicios de demoliciones, etc. Tras los estudios geotécnicos previos del terreno la cama de apoyo de la tubería podrá ser la propia del terreno o bien con material granular compactado con 10 cm mínimo de espesor, tal y como hemos mencionado en la capítulo "Dimensionamiento de zanjas".

Recomendaciones de utilización • • •

Habría que añadir que en terrenos acuíferos, la cama de apoyo debería estar constituida por materiales de granulometría comprendida entre 5 y 30 mm. Referente a la anchura mínima que debe de tener la excavación, está igualmente indicada en el capítulo “Dimensionamiento de zanjas” (Ver foto 2.1 y 2.2).



Foto 1.1



Foto 1.2

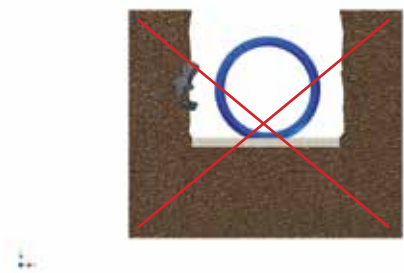


Foto 1.3



Foto 1.4

Ensamblaje.

En el caso de las tuberías TOM® PVC-O tanto el bisel como la marca en el cabo liso ya vienen definidos. Esto es importante para un buen emplazamiento de la junta de estanqueidad así como localizar el límite de conexión.

Las recomendaciones principales para garantizar una buena conexión entre la copa y el cabo liso son las siguientes:

- Se debe de verificar que las juntas están limpias interna y externamente pero sobre todo que estén bien colocadas.
- Para facilitar el ensamblaje, se recomienda lubricar el cabo y la copa con jabones lubricantes. Utilizando lubricante del fabricante, nunca grasas u otros productos.
- Se define el número de uniones por kg de lubricante.

DN (mm)	90	110	140	160	200	225	250	315	355	400	450	500	630	800
Uniones	87	76	54	46	34	32	30	25	21	17	16	14	12	9

- Alinear los extremos de las tuberías e introducir el cabo en su alojamiento.
- Para la introducción del tubo se pueden emplear palancas (se utilizarán materiales que no dañen el tubo, tales como madera, tractel o eslingas (ver fotos 1.5 y 1.6), aunque en diámetros pequeños, debido al sistema de unión por junta elástica y la ligereza del tubo, es suficiente con un movimiento manual rápido y seco.



Foto 1.5



Foto 1.6

3.3 Pruebas en obra y puesta en servicio

En todo lo relativo a la instalación, pruebas en obra y puesta en servicio se tiene que seguir los procedimientos de la norma UNE-EN 805:2000 Abastecimiento de agua y/o al organismo competente. A medida que se vaya ejecutando el montaje se debe ir probando la tubería instalada en tramos completamente ejecutados (la longitud podrá variar entre 500 y 1.000 metros). Se cerrarán los extremos del tramo en prueba con piezas adecuadas, la tubería deberá estar parcialmente rellena con las uniones descubiertas.

La presión de prueba (STP) en N/mm^2 ($0,1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ atm}$) será:

a) Si el golpe de ariete ha sido calculado en detalle:

$$\text{STP} = \text{MDP} + 0,1$$

b) Si el golpe de ariete ha sido estimado, se cogerá el menor valor entre:

$$\text{STP} = \text{MDP} + 0,5 \text{ y } \text{STP} = 1,5 \cdot \text{MDP}$$

MDP es la presión máxima de diseño, es decir, la máxima presión que puede alcanzarse en una tubería incluyendo el efecto del golpe de ariete.

La puesta en servicio de conducciones para agua potable deberá cumplir lo establecido en el RD 140/2003 en lo relativo a limpieza y desinfección.

Gama y características de la





tubería PVC Orientado TOM®

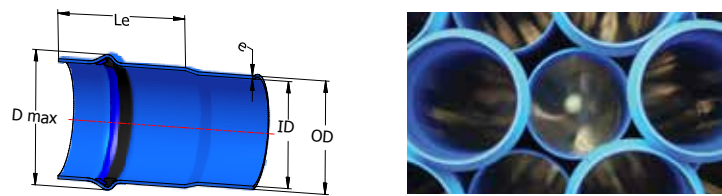


4.1 Gama de productos

Dimensiones

			TOM® PVC-O 500							
			PN 12,5		PN 16		PN 20		PN 25	
Diámetro Nominal (DN)	Diámetro exterior (OD)		Diámetro interior (ID)	Espesor (e)	Diámetro interior (ID)	Espesor (e)	Diámetro interior (ID)	Espesor (e)	Diámetro interior (ID)	Espesor (e)
	min.	máx.	medio	min.	medio	min.	medio	min.	medio	min.
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
90	90,0	90,3	-	-	84,0	2,0	84,0	2,5	82,2	3,1
110	110,0	110,4	104,4	2,2	104,0	2,4	103,2	3,1	101,4	3,8
140	140,0	140,5	133,0	2,8	132,4	3,1	131,2	3,9	129,2	4,8
160	160,0	160,5	152,0	3,2	151,4	3,5	150,0	4,4	147,6	5,5
200	200,0	200,6	190,0	4,0	189,2	4,4	187,4	5,5	184,4	6,9
225	225,0	225,7	213,6	4,5	212,8	5,0	210,8	6,2	207,4	7,7
250	250,0	250,8	237,4	5,0	236,4	5,5	234,2	6,9	230,6	8,6
315	315,0	316,0	299,2	6,3	298,0	6,9	295,2	8,7	290,6	10,8
355	355,0	356,1	337,4	7,1	336,0	7,8	332,4	9,8	327,2	12,2
400	400,0	401,2	379,8	8,0	378,4	8,8	374,8	11,0	369,0	13,7
450	450,0	451,4	427,6	8,9	426,0	9,9	421,4	12,4	415,0	15,4
500	500,0	501,5	474,6	9,9	472,8	11,0	468,6	13,7	461,2	17,1
630	630,0	631,9	597,8	12,6	595,8	13,8	590,4	17,3	581,0	21,6
800	800,0	802,0	760,4	16,3	757,8	17,4	750,4	21,6	-	-

Las tuberías de PVC-O TOM® se suministran en longitudes totales (incluyendo longitud de embocadura) de 5,95 metros.
Para otros diámetros y presiones nominales, consultar.



Embalaje

DN (mm)	Tubos/ Palet	Palet/ Camión	Tubos/ Camión	Metros ⁽¹⁾ / Camión	Anchura Palet (mm)	Kg/Palet		
						PN16	PN20	PN25
90	69	16	1104	6569	1200	540	550	670
110	76	12	912	5426	1200	750	790	980
140	39	12	468	2785	1100	610	650	800
160	28	12	336	1999	1100	560	610	760
200	18	12	216	1285	1100	540	610	760
225	11	12	132	785	1050	450	610	600
250	11	12	132	785	1100	510	590	730
315	13	8	92 - 104	547 - 619	2300	960	1100	1350
400	9	6	54	321	2100	1070	1250	1500
500	4	8	32	190	2300	750	900	1050
630	3	6	18	107	1900	900	1050	1250

(1) Metros nominales (5,95 metros por tubo). Para obtener los metros efectivos se debe restar la longitud de embocadura. Otros embalajes o longitudes, consultar.

4.2 Materias primas

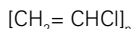
Las tuberías de PVC-O TOM® tienen la misma base química que las tuberías de PVC-U convencional, por tanto, las materias primas utilizadas son similares.

• Resina de poli(cloruro de vinilo) (PVC)

El PVC es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo, es por tanto, una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. En su composición, contiene un 57% de cloro, proveniente de la sal común y un 43% de hidrocarburos (gas y/o petróleo), de esta forma es el plástico con menos dependencia del petróleo.

El cloruro sódico o sal común es un recurso prácticamente inagotable, del cual, por un proceso electrolítico se obtiene cloro, sosa cáustica e hidrógeno. El cloro se combina con el etileno obtenido a partir del petróleo, produciendo etileno diclorado que se transforma en cloruro de vinilo (VCM). Éste, tras un proceso de polimerización y secado, produce un polvo blanco inocuo, el poli(cloruro de vinilo) o PVC.

Su fórmula es:



La resina que resulta de esta polimerización es la más versátil de la familia de los plásticos; pues además de ser termoplástica (al aplicar calor se reblandece y al enfriarse recupera la consistencia inicial conservando su nueva forma), a partir de ella, se pueden obtener productos rígidos y flexibles. Las tuberías TOM® de PVC Orientado se encuentran dentro de la familia de los productos rígidos, aunque por su estructura se hable de tuberías semirrígidas a diferencia de las tuberías rígidas de PVC convencional (ver capítulo 1).

En el mercado existe una gran variedad de resinas, que presentan distintas propiedades según sea peso molecular, una forma sencilla de identificarlas es mediante su valor K. De forma general, según éste va aumentando, mejoran las propiedades físicas (tensión, elongación,...) y de resistencia química a ácidos y álcalis, también mejora su estabilidad térmica, pero en contraposición se hace más difícil la procesabilidad del material.

De esta forma, para la correcta formulación de un determinado producto, es necesario escoger la resina conforme a los requerimientos en propiedades físicas finales, procesabilidad y aplicación del mismo.

El PVC puro es un material que se degrada alrededor de los 100°C y que se deteriora bajo la acción de la luz y del calor, por eso, para mejorar sus propiedades y poder procesarlo correctamente durante la fabricación de las tuberías, es necesario incorporar aditivos durante su fabricación tales como::

• **Estabilizantes:** Son necesarios en las formulaciones de PVC para prevenir su descomposición por el calor durante el procesamiento y también para mantener su estabilidad con el paso del tiempo. Otorgan mejor resistencia a la luz, a la intemperie y al calor. Ejercen una importante influencia en las propiedades físicas del material y también en el costo de la formulación.

Hay que destacar que es el único componente con el que el PVC reacciona durante la fabricación del producto y que seguirá reaccionando durante toda su vida útil, retardando la degradación que el calor y la luz producen en la tubería.

Los estabilizadores pueden ser: sales organometálicas de Ba, Cd y Zn, mercapturos y carboxilatos de compuestos organoestanosos, jabones y sales de plomo o combinaciones de estearatos de Ca y Zn atóxicos entre

Gama y características de la tubería PVC Orientado TOM® . . .

otros productos. Las tuberías TOM® utilizan estabilizantes basados en Ca y están libres de plomo según marca la legislación sanitaria al respecto de materiales en contacto con agua de consumo humano.

• **Lubricantes:** La lubricación es uno de los aspectos más importantes del procesado del PVC y va muy unida a la estabilización, sobre todo en los productos rígidos, entre los que se encuentran las tuberías TOM® de PVC-O, ya que evitar la degradación durante la transformación del material es crítico.

Existen dos tipos de lubricación:

- **Lubricación interna:** se utiliza ácido esteárico, estearatos metálicos o ésteres de ácido graso. En este caso, el lubricante actúa disminuyendo la viscosidad de fusión y reduciendo la fricción entre las moléculas del polímero.
- **Lubricación externa:** se consigue mediante el uso de aceites parafínicos, ceras parafínicas y polietilenos de peso molecular bajo. Los lubricantes externos actúan migrando a la superficie, con lo que reducen la fricción del plástico fundido con las paredes metálicas del extrusor.
- **Cargas:** Se utilizan con el fin de reducir costos, impartir opacidad y modificar ciertas propiedades finales, como son la resistencia a la abrasión o al rasgado, etc. Los materiales empleados son generalmente productos inertes, inorgánicos y minerales; entre ellos destaca el carbonato de calcio, siendo el producto más ampliamente utilizado, y silicatos tales como la arcilla, el caolín o el talco.

• **Pigmento y/o Colorantes:** Los colorantes se usan principalmente como objeto decorativo, en el caso de las tuberías TOM®, sirven básicamente para diferenciar las tuberías según el uso final al que van destinadas (abastecimiento, reutilización,...).

Se utilizan colorantes o pigmentos metálicos de aluminio, cobre, oro y bronce y otros metálicos combinados, como organo-metálicos de Cd, Cu, Ba, etc.

Además de estos componentes básicos de la formulación, pueden ser utilizados otros componentes, según la aplicación final del producto, como:

- **Absorbedores de rayos ultravioleta:** se utilizan para retardar la degradación del producto cuanto está sometido a la exposición a los rayos ultravioleta, como puede ser el caso de las ventanas, canalones o instalaciones aéreas de tuberías. El fenómeno de degradación se detecta cuando aparece cierto color amarillento o blanqueamiento de la superficie (ver capítulo 4.4).
- **Ayudas de proceso:** Como su nombre indica, son productos que ayudan durante el procesado de forma similar a como actúa un lubricante interno, haciendo el procesado más suave, debido a que la fusión es más rápida y temprana, pero aumentando la viscosidad de la fusión. Proporcionan un mejor acabado al producto.
- **Modificador de impacto:** Se emplea para aumentar la resistencia al impacto, creando una interfase, donde el elastómero incluido entre la resina actúa como absorbedor de choque en el proceso de absorción y disipación de energía. En el caso de las tuberías TOM® de PVC-O no se utilizan, ya que una de las características del PVC Orientado es la mejora de la resistencia a impacto que proporciona la estructura laminar formada durante el proceso de orientación molecular (ver capítulo 1) respecto a las tuberías de PVC convencional.

• **Antiestáticos.** Son productos empleados en la formulación de PVC con objeto de eliminar el efecto mencionado.

• **Modificadores de viscosidad.** Su aplicación es exclusiva para plastisoles y se emplean para bajar, regular y conservar la viscosidad de éstos, ya que los plastisoles, con el tiempo incrementan su viscosidad a niveles no adecuados de operación.

• **Fungicidas.** Estos productos no son muy empleados porque el PVC no es muy propicio para la procreación de hongos.

4.3 Propiedades mecánicas

Características mecánicas de la tubería	Tubería TOM® PVC-O 500			
Presión Nominal (bares)	12,5	16	20	25
Clase de material	500			
MRS (MPa)	50			
Coefficiente global de servicio (C)	1,4(1)			
Esfuerzo de diseño (MPa)	36			
Presión mínima de rotura a 50 años (bares) (2)	17,5	22,4	28,0	35,0
Presión mínima de rotura a 10 horas (bares) (2)	25,0	30,0	37,0	48,0
Presión mínima de rotura a reventamiento (bares) (2)	32,0	38,0	48,0	60,0
Presión de prueba máxima en obra (bares) (3)	17,5	21,0	25,0	30,0
Rigidez Circunferencial (kN/m²)	> 5	> 7	>11	>20
Relación de dimensiones (SDR)	51,0	45,8	36,0	29,0
Módulo de elasticidad a corto plazo (MPa)	4.000	> 4.000		
Resistencia a tracción axial (MPa)	> 48			
Resistencia a tracción tangencial (MPa)	> 85			

(1) La norma NF T 54-948 diseña con un coeficiente global de servicio de 1,25

(2) a la temperatura de 20°C

(3) según norma UNE-EN 805:2000 con golpe de ariete estimado

4.4 Propiedades químicas

En primer lugar, hay que hacer énfasis en que el PVC Orientado sigue siendo químicamente idéntico al PVC convencional. Durante el proceso de orientación molecular que tiene lugar en la fabricación de las tuberías TOM® de PVC-O, sólo se produce una modificación física de la estructura de las moléculas dentro del polímero sin producirse alteración de las propiedades químicas del mismo.

• **Resistencia química**

El PVC presenta una elevada resistencia química a soluciones ácidas, básicas, sales y compuestos orgánicos como alcoholes e hidrocarburos alifáticos. Por el contrario, es sensible a compuestos orgánicos como aldehídos, cetonas e hidrocarburos aromáticos y halogenados (ver anexo 7.4: Resistencia Química). También presenta una muy buena resistencia a componentes presentes en el medio natural como agua salada, ozono, humedad, etc.

Gama y características de la tubería PVC Orientado TOM® . . .

Las tuberías TOM® de PVC Orientado son inmunes a la acción de los productos químicos presentes en la naturaleza, por lo que no hay que preocuparse de forma especial por la composición química de los suelos donde van a ir enterradas.

Es resistente a:

- Los componentes naturales del suelo como sales minerales (cloruros y sulfatos) y ácidos húmicos (procedentes de la descomposición de la materia orgánica).
- Los componentes químicos de los fertilizantes agrícolas presentes en las tierras cultivo tales como fosfatos o nitratos.

Presentan así, una excelente resistencia en suelos agresivos, ácidos, básicos y con alto contenidos en sales y por tanto, no es necesaria la utilización de recubrimientos exteriores especiales para su protección. Del mismo modo, es posible utilizar esa tierra “agresiva” para el relleno posterior de la zanja después de la instalación de la tubería, esto no es posible en otros materiales ya que produciría su corrosión.

El PVC-O es resistente a los productos desinfectantes habitualmente utilizados en la redes de agua potable (hipoclorito sódico, dióxido de cloro,...), a productos presentes en aguas residuales tanto domésticas como industriales (detergentes, aceites y grasas, sales minerales,...) y a productos fitosanitarios empleados en el sector agrícola. Gracias a su alta resistencia química, las tuberías de PVC-O son perfectamente válidas para el transporte de una amplia gama de fluidos.

Esta inercia química hace que no se produzca deterioro de la pared del tubo, manteniéndose intacta con el paso del tiempo, a diferencia de lo que ocurre en otros materiales, en los que la degradación química de la pared puede ocasionar agujeros y fisuras que permitan la introducción de agentes externos en el caudal del agua transportada, provocando su contaminación y la pérdida de recursos hídricos por fuga del agua canalizada.

Gracias a que no se produce corrosión, no favorece el crecimiento de microorganismos.

Según esto, gracias a su inercia química, las tuberías de TOM® de PVC-O permanecerán inalteradas durante toda su larga vida útil.

• Inerte a la corrosión

La corrosión es la principal causa de fallo en las conducciones de fluidos. Aunque existen muchos tipos de corrosión (química, por oxígeno, microbiológica,...), cuando se habla de corrosión habitualmente se está haciendo referencia a la corrosión electroquímica que afecta a los metales y que ocurre de forma natural al interaccionar éstos con el ambiente (suelo o agua), provocando la cesión de óxidos al medio.

En el PVC, por su naturaleza química, no se produce este tipo de corrosión, con lo que se evita la cesión de óxidos y metales al agua, que en caso de agua potable, pueden llegar a suponer un problema de salud pública si se superan los parámetros de calidad exigidos para el agua de consumo humano.

• Resistencia a los rayos ultravioleta

La exposición prolongada de tubos de PVC a la luz solar directa puede causar con el tiempo, una película delgada de degradación en la superficie expuesta. Esta capa se hace visible como decoloración y se detiene una vez que cesa dicha exposición. La experiencia ha demostrado, que esta capa protege el material subyacente de la luz ultravioleta, asegurando que el resto de la pared de la tubería no se ve afectada por la acción de los rayos solares.

La estructura laminar de la pared de las tuberías de PVC-O, impide que la mínima fragilidad que se produce en la superficie de la misma por la degradación de producida por los rayos ultravioletas, se transmita hacia el interior del tubo.

En términos prácticos, las propiedades de tuberías se mantienen prácticamente intactas, y los tubos afectados por este fenómeno, pueden ser utilizados con total normalidad.

En el caso de las tuberías TOM® de PVC-O, en el proceso de fabricación se añaden una serie de aditivos que hacen que la tubería tenga una resistencia bastante alta frente a los rayos ultravioletas, por si el acopio de los mismos se prolonga en el tiempo, pero están diseñados para ir enterrados, por lo que no tienen una protección especial frente a los rayos UV. La gama de tubería TOM® en color blanco, ha sido diseñada para realizar instalaciones a la intemperie, de forma que es resistente a la degradación producida por los rayos UV.

• Resistencia al fuego

El PVC tiene una alta resistencia a la iniciación de la llama que unida a su alta temperatura de ignición, hacen que sea un material difícilmente inflamable. Es autoextinguible, ya que deja de arder cuando se retira la llama, con lo que no producen gotas en llamas reduciendo la propagación del fuego. También hay que tener en cuenta, que cuando se quema, se carboniza y se expande creando una capa de protección frente a la propia llama. Gracias a su baja conductividad térmica, irradia una cantidad limitada de calor, con lo que tiene una mínima contribución a la propagación del fuego a otros materiales adyacentes.

Respecto a los gases generados durante la combustión, hay que tener en cuenta que el gran peligro en cualquier incendio es el monóxido de carbono (CO) por su alta toxicidad y por la dificultad de detectarlo por su olor. En la combustión del PVC, el humo emitido no tiene una toxicidad mayor que la de otros materiales basados en carbono como puede ser la madera. El ácido clorhídrico (HCl) contenido en el humo emitido, es irritante para el aparato respiratorio, pero hay que destacar que es fácilmente detectable por su olor, por lo que actúa como alarma inmediata, también favorece la extinción de la llama ya que le quita oxígeno al fuego. Es importante destacar, que se necesitan concentraciones muy altas, que nunca llegan a alcanzarse en un incendio real, para alcanzar dosis letales.

• Resistencia a la abrasión

Los plásticos, entre ellos el PVC orientado, al contrario de lo que se cree, tienen una alta resistencia a la abrasión, mucho más alta que materiales más duros. Esto se debe a la estructura molecular del polímero, en el que la mayoría de las partículas abrasivas rebotan en vez de incrustarse, con lo que no se produce daño en la superficie. En el caso del PVC Orientado, debido al reordenamiento de sus moléculas y a la estructura laminar que se forma en el proceso de orientación molecular, se espera un mejor comportamiento de resistencia al desgaste a causa de la circulación de partículas sólidas en suspensión en el fluido, incluso a altas velocidades de circulación.

4.5 Otras propiedades

Otras características del material	Unidades	Valor
Densidad	Kg/dm ³	1,35 - 1,46
Valor k resina de PVC	[]	> 64
Dureza Shore D a 20°C	[]	81 – 85
Coefficiente de Poisson	[]	0,35 - 0,41
Temperatura Vicat	°C	> 80
Coefficiente de dilatación lineal	°C ⁻¹	0,8·10 ⁻⁴
Conductividad térmica	Kcal/mh°C	0,14 - 0,18
Calor específico a 20°C	cal/g°C	0,20 - 0,28
Rigidez dieléctrica	Kv/mm	20 – 40
Constante dieléctrica a 60 Hz	[]	3,2 - 3,6
Resistividad transversal a 20°C	Ω/cm	> 10 ¹⁶
Rugosidad absoluta (ka)	mm	0,007
Rugosidad C (Hazen-Williams)	[]	150
Coefficiente de rugosidad de Manning (n)	[]	0,009

Características de la junta de estanqueidad	Unidades	Valor
Dureza del elastómero	IRHD	60±5

4.6 Accesorios

Los accesorios son elementos necesarios en la red de canalización para enlazar, direccionar o derivar las tuberías. Para el correcto funcionamiento de la red, es necesario que la instalación tubo-acesorio se realice correctamente siguiendo las instrucciones del fabricante y proceder a la realización de un correcto anclaje de los mismos (ver 2.2.2.1), para así asegurar la resistencia estructural de la red.

La tubería TOM® de PVC-O es compatible con una amplia gama de accesorios disponibles en el mercado ofreciendo así buenas soluciones de instalación en cualquier red planificada.



A continuación se muestran las familias de tipos de accesorios que pueden ser instalados en las tuberías TOM®:

- **Fundición dúctil para PVC**

Son los más ampliamente utilizando, existiendo una amplia gama de este tipo de accesorios en el mercado en lugar de codos, tes, reducciones, manguitos de unión,.... Se pueden encontrar con 2 tipos de sistemas de unión:

• • • Gama y características de la tubería PVC Orientado TOM®

- Con sistema enchufe tipo campana

Este tipo de unión es rápida y segura gracias al sistema embocadura-junta de estanqueidad, similar al que tienen los tubos TOM®.

En este caso son accesorios no diseñados en su inicio específicamente para el PVC-O, y aunque en teoría son válidos, es recomendable hacer un estudio de compatibilidad de cada tipo de accesorios con la tubería TOM® para asegurarse de ello. En la actualidad, muchos fabricantes, ya indican en sus catálogos la validez de sus accesorios con las tuberías de PVC-O.

- Con sistema autoblocante

Este tipo de accesorios han sido diseñados para permitir que la unión tubo-accesorio funcione a tracción. Normalmente llevan un aro metálico dentado que se fija al tubo para evitar su deslizamiento en sentido longitudinal.



4

- **Fundición dúctil con sistema brida**

Este tipo de accesorios, permiten la conexión de la tubería, a través de un sistema de bridas, a otros componentes de la red como pueden ser válvulas, ventosas o tomas domiciliarias. También se encuentra disponible en el mercado una amplia gama de este tipo de accesorios en lugar de codos, tes, collarines de toma,...



Gama y características de la tubería PVC Orientado TOM® . . .

- **Acero**

En este caso, aunque también hay gama de accesorios para diámetros estándar, tienen la ventaja de que pueden ser realizados a medida según el proyecto a realizar, son especialmente útiles en nudos donde los ángulos de las conexiones no corresponden con los estándares del mercado.



- **Universales**

Normalmente son manguitos de unión que se utilizan para la conexión con tuberías de otros materiales, en los que puede haber diferencia del diámetro exterior y permite adaptarse a cada uno de ellos.



- **Multidiámetro**

Podrían englobarse dentro de los accesorios universales, pero cabe destacar la existencia de este tipo de accesorios para comentar la importancia de su correcta instalación en tuberías de PVC-O.



Es muy importante respetar el par de apriete indicado por el fabricante del accesorio específico para el PVC orientado, ya que si se sobrepasa puede dañar la tubería y hacer que la instalación no sea válida.



- **PVC convencional**

Para el PVC convencional hay disponible una amplia gama de accesorios de PVC con enchufe tipo campana. Dimensionalmente, estos accesorios son compatibles con las tuberías TOM® de PVC-O, pero no se suelen utilizar sobre todo porque las presiones, aunque también los diámetros, disponibles en el mercado no cubren la gama de productos de la tuberías TOM®.

4.7 Calidad y certificaciones

La calidad es un elemento clave en la actividad de Molecor, con su dinámica de mejora continua identifica las necesidades del cliente incorporándolas al sistema para mejorar la eficacia de la prestación del servicio.

Molecor tiene implantado un Sistema de Aseguramiento de la Calidad basado en la norma UNE-EN ISO 9001:2008, desde el inicio de su actividad productiva, que está certificado por AENOR, estando avalado por el correspondiente certificado ISO 9001 y su equivalente internacional, certificado IQNet.



Además, las tuberías TOM® de PVC Orientado están fabricadas de acuerdo a las siguientes normas de producto, estando en posesión de los correspondientes certificados de producto o marcas de calidad.

País	Marca Producto	Entidad de acreditación	Norma
España	Marca 	AENOR	UNE-ISO 16422:2008 Tubos y uniones de policloruro de vinilo orientado (PVC-O) para el transporte de agua a presión. Especificaciones
Francia	Marca 	AFNOR-CSTB	NF T54-948:2010 Tubes in poly (chlorure of vinyle) orienté biaxial (PVC-BO) et leurs assemblages. Spécifications



El control de Calidad sobre las tuberías se realiza aplicando conjuntamente los requerimientos de las normas mencionadas, con lo que el nivel de exigencia es mayor que el solicitado por cada una de la normas de forma individual. Cabe destacar, que Molecor realiza los test con mayor frecuencia de ensayo de la indicada, y que incluye, en su control interno, ensayos no solicitados por las normas.

Gama y características de la tubería PVC Orientado TOM® . . .

El Sistema Gestión de Calidad implantado y certificado, está en constante evolución debido a la dinámica de mejora continua establecida. Se realiza un seguimiento de los procesos (a través de indicadores y todas las posibles incidencias que puedan ocurrir (postventa, internas, de proveedores,...)) son analizadas, implementándose las correspondientes acciones correctivas o preventivas en los casos donde sean necesarias. El sistema de aseguramiento de calidad también es continuamente evaluado y mejorado a través de auditorías internas y de auditorías externas realizadas por las entidades de acreditación.

Finalmente comentar, que Molecor desarrolla su prestación de servicio con respeto al medioambiente. La sostenibilidad es para Molecor un concepto fundamental dentro de su actividad, por ello, se ha comprometido con una producción sostenible respetando el medio ambiente y la prevención de la contaminación, fabricando sus tuberías TOM® de PVC Orientado (PVC-O), que es la tubería más ecológica del mercado, ya que es la que mejor eficiencia, mayor ahorro energético y menor huella ambiental presenta, contribuyendo así de forma eficaz al correcto desarrollo sostenible del planeta.

Estos principios de respeto al medioambiente y prevención de la contaminación incluidos en su política de calidad y medioambiente, e implantados dentro del Sistema integrado de Gestión de Molecor, se ven avalados por la obtención del Certificado de Gestión Ambiental según la norma UNE-EN ISO 14001:2004 por parte de la Asociación Española de Normalización (AENOR).



Respecto a la certificación sanitaria, la tubería TOM® cumple con todos los requisitos exigidos al agua de consumo humano, tanto en España como en otros países como Francia o el Reino Unido, donde la normativa es aún más exigente.



Todos los certificados actualizados pueden verse en la web www.molecor.com.



Aptitud de uso



La gestión sostenible del agua es esencial para nuestras vidas, se debe garantizar un correcto uso de los recursos disponibles. Por ello, es muy importante realizar una correcta elección del material de la conducción para evitar filtraciones del exterior, fugas o roturas que empeoren la calidad del agua y/o desperdicien agua canalizada.

Las tuberías TOM® mantienen inalteradas las propiedades del fluido que circula por su interior, sea cual sea su naturaleza y calidad. Se presentan como la mejor solución para la conservación de los recursos hídricos disponibles durante generaciones, ya que además de su inercia química que evita que se deterioren, la completa estanqueidad de sus uniones evita las pérdidas de agua por fugas.

5.1 Agua potable

Las tuberías TOM® preservan y garantizan la inalterabilidad de la calidad del agua para consumo humano que transportan.

Se han realizado ensayos de migración sumamente rigurosos, que prueban que no se producen migraciones de productos desde la tubería al agua canalizada, esta aptitud está avalada por la conformidad o certificación correspondiente, según la legislación sanitaria vigente en diferentes países. La tubería TOM® es conforme a la legislación actual española (Real Decreto 140/2003) y está en posesión de las certificaciones: ACS (Francia), Hydrocheck (Bélgica) o WRAS (UK) entre otras. En www.molecor.com pueden obtenerse las certificaciones actualizadas.

Actualmente, a nivel europeo aún no se ha conseguido un consenso claro y común que marque los requerimientos exigibles a los materiales en contacto con agua de consumo humano. Cada país, aplica su propio esquema nacional de aceptación, que en el caso de España, se está desarrollando en base a los requerimientos de los esquemas ya establecidos en otros países como Francia, Holanda o Reino Unido. Estos esquemas, tienen en común: el chequeo de la formulación del producto con las listas positivas de productos permitidos para el uso de consumo humano y la realización de ensayos sobre el material, organolépticos y de migraciones entre otros.

En otros países del mundo, el organismo competente correspondiente, marca los requerimientos sanitarios exigidos a la tubería sin la existencia de un esquema específico de aceptación como ocurre en la unión europea.

Gracias a su excelente resistencia química, la conducción no se degrada por la acción de los componentes naturales, como por ejemplo las sales minerales, del suelo donde se encuentran enterradas, por lo que permanecen inalteradas con el tiempo, evitando que puedan sufrir un deterioro que provoque su rotura y de esta forma permitir la contaminación del agua por la introducción de agentes externos al interior de la tubería.

Por esta misma razón, la tubería TOM® tampoco se ve afectada por la acción de los métodos de desinfección usualmente utilizados, hipoclorito sódico e dióxido de cloro principalmente, en las redes de abastecimiento.

Esta misma resistencia química, las hace inmunes a la corrosión, por lo que no se produce la cesión de óxidos metálicos al agua. Esto puede suponer un problema de salud pública si se superan los límites sanitarios correspondientes para este parámetro, incrementando los costes de mantenimiento de la red por las sucesivas limpiezas, con el añadido del agua potable contaminada y desperdiciada, o incluso a veces, se hace necesaria la sustitución completa del tramo de tubería afectada.

Esta ausencia de corrosión, evita la formación del hábitat ideal para la proliferación de bacterias, por lo que el crecimiento bacteriano y la correspondiente formación de biofilm en el interior de la tubería, se ven minimizados en gran medida.

5.2 Agua residual

La resistencia a la abrasión del PVC es bastante superior a la que presentan otros materiales (ver capítulo 4.4 Propiedades químicas), con lo que la erosión de las paredes y la consecuente reducción del espesor de la pared del tubo es muy poco significativa. Esto hace que la tubería TOM® sea perfectamente válida para la conducción de aguas residuales que contienen gran cantidad de sedimentos y partículas en suspensión.

Igual que en el caso del agua potable, la alta resistencia química del PVC, le hace resistente y no degradable frente a la acción de productos presentes en este tipo de aguas como son: detergentes, otros productos químicos diluidos o grasas y aceites.

5.3 Agua regenerada

El agua regenerada obtenida en los tratamientos terciarios de las EDAR's es cada día un recurso hídrico de mayor importancia en la gestión del ciclo del agua. Puede ser utilizada para diversas aplicaciones como baldeo de calles o usos industriales (principalmente refrigeración), pero su mayor aplicación está en su reutilización en el sector del regadío, sobre todo de parques y jardines o campos de golf.

En este caso, podemos asimilar el agua regenerada, en cuanto a composición, al agua potable, sólo que en este caso no es un agua apta para el consumo humano. Por tanto, todo lo indicado para el agua potable, es válido para este tipo de agua, siendo las conducciones de PVC-O perfectamente válidas para su transporte.

Cabe destacar, que su alta resistencia química hace que sean aptas para el transporte de agua de riego que contiene fertilizantes o productos fitosanitarios necesarios para las plantas, así como resistentes a las altas concentraciones de productos, como fosfatos o nitratos presentes en las tierras de cultivo.

5.4 Salmuera

Las tuberías TOM® son válidas para el transporte de agua salada ya que su alta resistencia a la abrasión les hace resistir la acción de las partículas de sal disueltas en el agua sobre la superficie interna de la tubería.

Sostenibilidad





Ante la problemática del calentamiento global que sufre el planeta debido al efecto invernadero, muchos gobiernos están planeando políticas medioambientales buscando soluciones más ecológicas y favorables al medioambiente para aplicar en todos los ámbitos y así conseguir mantener un correcto desarrollo sostenible de los recursos disponibles.

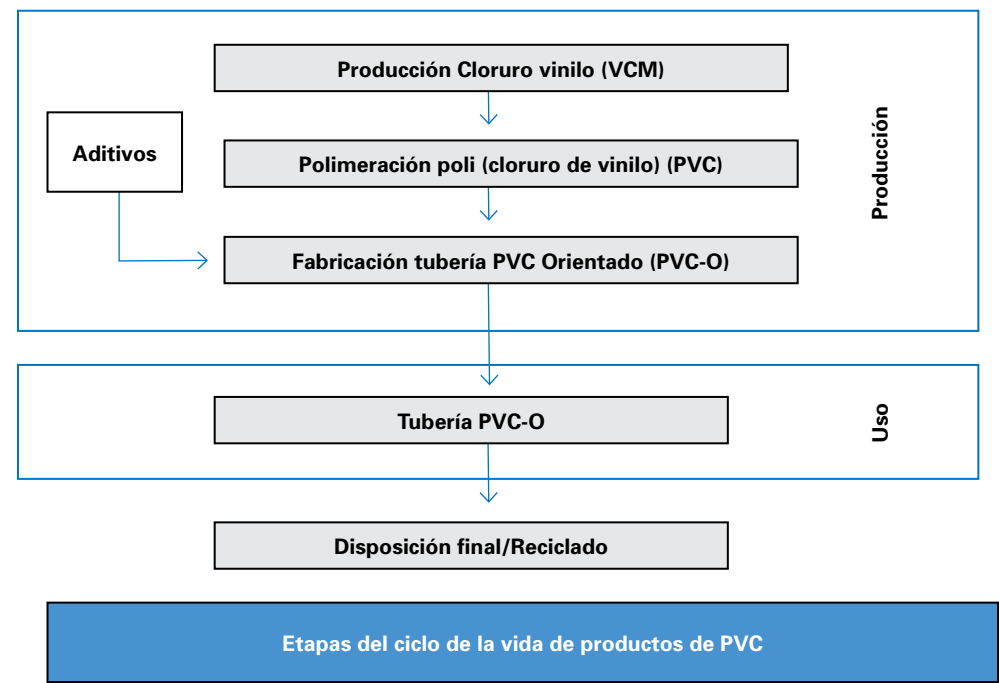
Como contribución a mejorar esta problemática, las tuberías TOM® de PVC orientado (PVC-O) para el transporte de agua a presión, se presentan como la opción más sostenible que existe en el mercado, debido al menor consumo energético y a la menor producción de CO₂ asociado, ya que evitan el consumo innecesario de energía a lo largo de toda su larga vida útil.

Los factores que determinan la eficiencia energética durante todo el ciclo de vida de una tubería son principalmente el tipo de materia prima utilizada, el proceso de producción, el acabado del producto y su vida útil.

Durante años, se ha producido una gran cantidad de noticias sobre la incidencia negativa del PVC en el medioambiente, pero se ha demostrado que no hay ningún fundamento científico en esas acusaciones. El PVC gracias a su gran inercia química es inalterable e inocuo, la presencia de átomos de cloro en su molécula no es sinónimo, ni de toxicidad ni de peligrosidad, ya que éstos están presentes en gran parte de los productos habituales que nos rodean, como por ejemplo la sal común.

6.1 Ciclo de vida del PVC-O

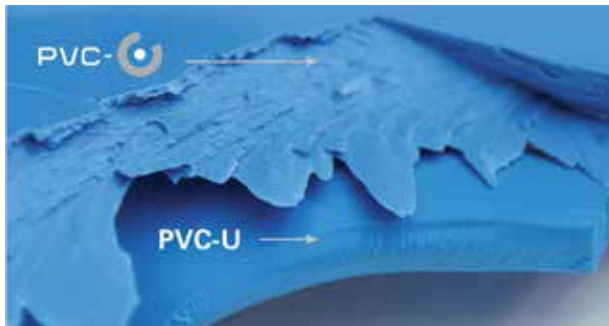
Según el informe de la Comisión Europea “Life Cycle Assessment (LCA) of PVC and of principal competing materials” (Abril 2004), el ciclo de vida para los productos de PVC, incluido el PVC Orientado, es el mostrado en la siguiente figura. Molecor en la fabricación de sus tuberías TOM® está involucrado en la fase de producción en la etapa de fabricación de tuberías.



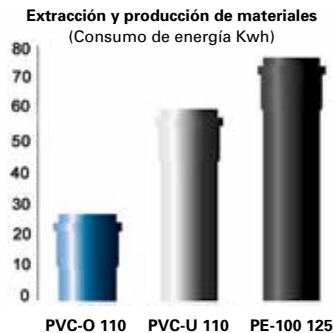
Durante dicho ciclo de vida, se pueden distinguir varias fases:

1.- Fase producción.

Las tuberías de PVC-O están fabricadas por extrusión convencional y posterior orientación molecular. El tubo base extruido, bajo unas determinadas condiciones de presión y temperatura, es sometido a un estiramiento que produce en el interior de la tubería, la reordenación de las moléculas del polímero, formando una estructura laminar en la pared del tubo que mejora de forma significativa las propiedades mecánicas de la tubería, a la vez que mantiene intactas sus propiedades químicas.



A la misma vez, se produce una reducción del espesor de la pared del tubo, con lo que con menor cantidad de materia prima se consigue un tubo de mayores prestaciones mecánicas y por tanto una optimización de recursos de materias primas. Este menor consumo de materias primas, se traduce en ahorro de energía durante la extracción de las mismas y durante su producción.



Hay que destacar también, que el novedoso proceso de fabricación de Molecor, patentado a nivel mundial, tiene una gran eficiencia energética con lo cual también se produce una optimización de recursos energéticos, durante la etapa de producción de la tubería TOM®.

2.- Fase de uso.

La vida útil de una tubería para el transporte de agua debe garantizar un periodo de 50 años según establece la curva de regresión que determina su tensión máxima de servicio. Esta vida útil, comienza en el momento de la construcción de la red con la instalación de la tubería. En esta fase, el consumo de energía más importante se debe al bombeo.

Al respecto de la eficiencia y el ahorro energético que tiene lugar durante esta etapa, se pueden diferenciar varios aspectos:

- Optimización del transporte.

Gracias a su ligereza, podemos transportar más cantidad de material, por tanto tenemos ahorro de combustible y minimización de las emisiones de CO₂ asociadas.

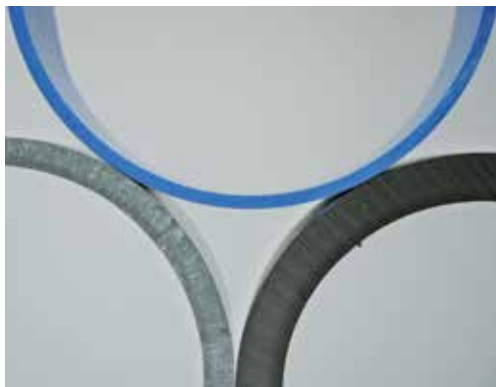
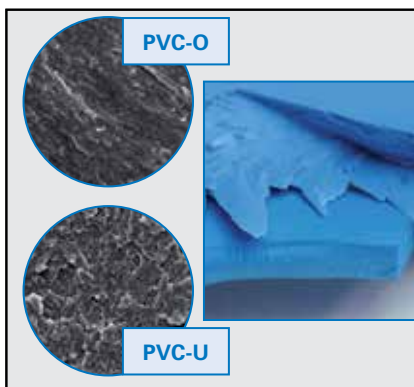
- Eficiencia en costes de instalación.

- Su ligereza también minimiza la repercusión de la mano obra y la necesidad de maquinaria especial para su puesta en obra.
- El eficaz diseño de la copa permite que los tubos sean ensamblados con gran facilidad.

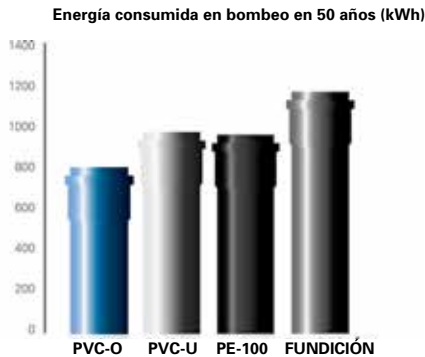
Uniendo estos dos factores, se consigue un rendimiento de instalación muy alto, reduciéndose de forma considerable los tiempos de ejecución de las obras, obteniéndose beneficios económicos y sociales por el ahorro de tiempo y energía.

- Eficiencia durante el funcionamiento.

Las tuberías de PVC-O TOM® tienen una capacidad hidráulica mayor, entre el 15 y el 40% dependiendo del diámetro y el material con que se comparen, con lo que para un mismo consumo energético, siempre la cantidad de agua transportada es mayor.



Esta mayor capacidad hidráulica se debe a la mayor sección útil que presentan debido a la optimización del espesor de su pared. Por otra parte, su menor rugosidad hace que la superficie interna del tubo sea extremadamente lisa, con lo que se minimizan las pérdidas de carga y el fluido puede circular a mayor velocidad. Todos estos beneficios hacen que para transportar la misma cantidad de aguas, se necesite menos energía, de esta forma, se reducen los consumos energéticos en el bombeo durante la etapa de uso.



La extremada lisura de esta superficie interior, hace que la formación de depósitos sea difícil, con lo que el diámetro interior apenas se ve reducido a lo largo del tiempo y así el caudal del fluido para el que la tubería ha sido diseñada se mantenga a lo largo de la vida útil de la conducción.

3.- Fase de reciclaje o disposición final.

El PVC es un material 100% reciclable, puede ser reutilizado tras su larga vida de servicio, mayoritariamente por reciclado mecánico.

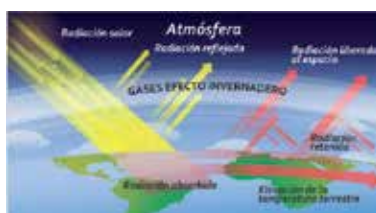
El proceso de fabricación del PVC-O, por su alto requerimiento técnico, no permite la utilización de materiales reciclados, pero permiten un proceso de gestión integral ya que pueden ser utilizadas, tras su largo ciclo de vida, en la fabricación de otras aplicaciones plásticas, como el recubrimiento de cables o la fabricación de canalones y bajantes para evacuación entre otras, donde los requerimientos técnicos exigidos a la materia prima son menores.

De esta forma, se reduce el consumo de materias primas y también el volumen de residuos generados.

El fomento de una cultura de reutilización y reciclaje, queda reflejado en el informe de la Comisión Europea de Abril 2004 y en el compromiso voluntario de los actores del sector en la gestión de residuos a nivel Europeo en sus programas Vinyl2010 y VinylPlus.

6.2 Contribución al efecto invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico, producido por una capa de gases natural formada por vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), que permite mantener la temperatura del planeta al retener parte de la energía que llega del sol. La mayoría de la energía que llega a la superficie de la Tierra, aproximadamente el 70%, es reflejada por ésta y es devuelta a la atmósfera, los gases efecto invernadero (GEI) retienen parte de dicha radiación y la devuelven a la superficie terrestre.

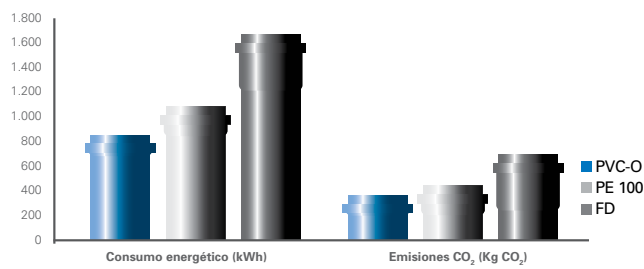


En 1990, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) identificó los seis gases principales que contribuyen al efecto invernadero. Estos son: Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido de nitrógeno (N₂O), Hidrofluorcarbonos (HCF's), Perfluorocarbonos (PFC's) y Hexafluoruro de azufre (SF₆).

El uso de combustibles fósiles es una de las principales causas que han provocado el aumento de la concentración de CO₂, el gas que mayor contribución tiene al efecto invernadero. El aumento de la concentración de estos gases en la atmósfera está produciendo mayor retención de calor en la superficie de la tierra y por tanto estamos observando un cambio climático en el planeta.

El impacto ambiental de las tuberías, va a depender de la composición y la aplicación de las mismas. Uno de los parámetros utilizados para cuantificar ese impacto es la contribución al Efecto Invernadero.

Las tuberías de PVC-O, según el estudio de la Universidad Politécnica de Catalunya “Estimación del consumo energético y de la emisión de CO₂ asociados a la producción, uso y disposición final de tuberías de PVC, PEHD, PP, Fundición y Hormigón”, considerando un periodo de vida útil de 50 años y 2 revisiones de mantenimiento anuales, son las que presentan mejor comportamiento, en cuanto al menor consumo energético (828 kWh) y de emisión de CO₂ (363 Kg), por lo tanto son la solución que mejor contribuye a mantener un correcto desarrollo sostenible.



El novedoso proceso de fabricación de la tubería TOM® de PVC Orientado, sólo consume energía eléctrica con lo cual, se ha eliminado la contribución más importante a los gases efecto invernadero (GEI), procedente de la emisión directa de combustión de combustibles. Por otra parte, la altísima eficiencia energética del proceso de fabricación, característica diferenciadora del proceso de Molecor frente a otros procesos de fabricación de tuberías de PVC-O, hace que el consumo energético sea más bajo.



6.3 Más contribuciones a la sostenibilidad

Las redes de suministro de agua fabricadas con materiales tradicionales, registran actualmente, un elevado porcentaje de fugas del agua canalizada, debido tanto a la falta de estanqueidad de las uniones, como a las roturas producidas por el deterioro de los tubos. En muchos casos, esto lleva a que las canalizaciones tengan que ser reemplazadas pocos años después de ser instaladas.

Las tuberías orientadas, se presentan como una garantía de durabilidad y compromiso para la conservación de los recursos hídricos aportando soluciones a infraestructuras en equilibrio con los ecosistemas.

Las tuberías de PVC-O al ser químicamente inertes frente a la acción de los productos químicos presentes en la naturaleza, van a permanecer inalteradas durante toda su vida útil, de forma que no se van a producir fugas del agua transportada.

Por otra parte la completa estanqueidad de las uniones, debido tanto a la gran calidad de la junta elástica utilizada, como al eficaz diseño de las copas, también contribuye a evitar fugas del agua canalizada.

En ambos casos, también se va a evitar la contaminación por agentes externos del caudal de agua transportado, tanto por la introducción de material del exterior, en el caso de rotura de tuberías, como por la cesión de óxidos o metales disueltos en el caso de corrosión de tuberías metálicas, que en un determinado momento podrían causar un problema de salud pública si se superan los parámetros de calidad exigidos para el agua de consumo humano.

Hay que tener en cuenta también, que su buena resistencia química la hace inalterable a los métodos de desinfección usados comúnmente y que no favorece el crecimiento de microorganismos.

De esta forma, la vida útil de la tubería se mantiene intacta, pudiendo decirse que son la herramienta perfecta para la gestión de los recursos hídricos disponibles, con lo que se contribuye de forma importante a la sostenibilidad del planeta.



7.1 Tablas de pérdidas de carga continuas

PVC-O PN12,5

D.interior	DN110 PN12,5 104,4		DN140 PN12,5 133,0		DN160 PN12,5 152,0		DN200 PN12,5 190,0		DN225 PN12,5 213,6		DN250 PN12,5 237,4	
velocidad	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J
(m/s)	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km
0,1	0,86	0,12	1,39	0,09	1,81	0,08	2,84	0,06	3,58	0,05	4,43	0,05
0,2	1,71	0,45	2,78	0,34	3,63	0,29	5,67	0,22	7,17	0,20	8,85	0,17
0,3	2,57	0,95	4,17	0,72	5,44	0,62	8,51	0,47	10,8	0,41	13,3	0,37
0,4	3,42	1,62	5,56	1,22	7,26	1,05	11,3	0,81	14,3	0,70	17,7	0,62
0,5	4,28	2,46	6,95	1,85	9,07	1,58	14,2	1,22	17,9	1,07	22,1	0,94
0,6	5,14	3,44	8,34	2,59	10,9	2,22	17,0	1,71	21,5	1,49	26,6	1,32
0,7	5,99	4,58	9,73	3,45	12,7	2,95	19,8	2,28	25,1	1,99	31,0	1,76
0,8	6,85	5,86	11,1	4,42	14,5	3,78	22,7	2,92	28,7	2,54	35,4	2,25
0,9	7,70	7,29	12,5	5,50	16,3	4,71	25,5	3,63	32,3	3,16	39,8	2,80
1,0	8,56	8,87	13,9	6,68	18,1	5,72	28,4	4,41	35,8	3,84	44,3	3,40
1,1	9,42	10,6	15,3	7,97	20,0	6,82	31,2	5,26	39,4	4,59	48,7	4,06
1,2	10,3	12,4	16,7	9,37	21,8	8,02	34,0	6,18	43,0	5,39	53,1	4,76
1,3	11,1	14,4	18,1	10,9	23,6	9,30	36,9	7,17	46,6	6,25	57,5	5,53
1,4	12,0	16,5	19,5	12,5	25,4	10,7	39,7	8,22	50,2	7,17	62,0	6,34
1,5	12,8	18,8	20,8	14,2	27,2	12,1	42,5	9,34	53,8	8,15	66,4	7,20
1,6	13,7	21,2	22,2	16,0	29,0	13,7	45,4	10,5	57,3	9,18	70,8	8,12
1,7	14,6	23,7	23,6	17,9	30,8	15,3	48,2	11,8	60,9	10,27	75,2	9,08
1,8	15,4	26,3	25,0	19,8	32,7	17,0	51,0	13,1	64,5	11,4	79,7	10,1
1,9	16,3	29,1	26,4	21,9	34,5	18,8	53,9	14,5	68,1	12,6	84,1	11,2
2,0	17,1	32,0	27,8	24,1	36,3	20,6	56,7	15,9	71,7	13,9	88,5	12,3
2,1	18,0	35,0	29,2	26,4	38,1	22,6	59,5	17,4	75,3	15,2	93,0	13,4
2,2	18,8	38,2	30,6	28,8	39,9	24,6	62,4	19,0	78,8	16,6	97,4	14,6
2,3	19,7	41,5	32,0	31,3	41,7	26,7	65,2	20,6	82,4	18,0	101,8	15,9
2,4	20,5	44,9	33,3	33,8	43,6	28,9	68,0	22,3	86,0	19,5	106,2	17,2
2,5	21,4	48,4	34,7	36,5	45,4	31,2	70,9	24,1	89,6	21,0	110,7	18,5
2,6	22,3	52,0	36,1	39,2	47,2	33,6	73,7	25,9	93,2	22,6	115,1	19,9
2,7	23,1	55,8	37,5	42,1	49,0	36,0	76,6	27,7	96,8	24,2	119,5	21,4
2,8	24,0	59,7	38,9	45,0	50,8	38,5	79,4	29,7	100,3	25,9	123,9	22,9
2,9	24,8	63,7	40,3	48,0	52,6	41,1	82,2	31,7	103,9	27,6	128,4	24,4
3,0	25,7	67,8	41,7	51,1	54,4	43,7	85,1	33,7	107,5	29,4	132,8	26,0
3,1	26,5	72,1	43,1	54,3	56,3	46,5	87,9	35,8	111,1	31,3	137,2	27,6
3,2	27,4	76,4	44,5	57,6	58,1	49,3	90,7	38,0	114,7	33,1	141,6	29,3
3,3	28,2	80,9	45,8	61,0	59,9	52,2	93,6	40,2	118,3	35,1	146,1	31,0
3,4	29,1	85,5	47,2	64,5	61,7	55,2	96,4	42,5	121,8	37,1	150,5	32,8
3,5	30,0	90,2	48,6	68,0	63,5	58,2	99,2	44,9	125,4	39,1	154,9	34,6
3,6	30,8	95,1	50,0	71,7	65,3	61,3	102,1	47,3	129,0	41,2	159,4	36,4
3,7	31,7	100,0	51,4	75,4	67,1	64,5	104,9	49,7	132,6	43,4	163,8	38,3
3,8	32,5	105,1	52,8	79,2	69,0	67,8	107,7	52,2	136,2	45,6	168,2	40,3
3,9	33,4	110,2	54,2	83,1	70,8	71,1	110,6	54,8	139,8	47,8	172,6	42,3
4,0	34,2	115,5	55,6	87,1	72,6	74,5	113,4	57,4	143,3	50,1	177,1	44,3

DN315 PN12,5 299,2		DN355 PN12,5 337,4		DN400 PN12,5 379,8		DN450 PN12,5 427,6		DN500 PN12,5 474,6		DN630 PN12,5 597,8		DN710 PN12,5 674,9		DN800 PN12,5 760,4	
caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J
l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km
7,03	0,04	8,94	0,03	11,3	0,03	14,4	0,02	17,7	0,02	28,1	0,02	35,8	0,01	45,4	0,01
14,1	0,13	17,9	0,11	22,7	0,10	28,7	0,09	35,4	0,08	56,1	0,06	71,5	0,05	90,8	0,04
21,1	0,28	26,8	0,24	34,0	0,21	43,1	0,18	53,1	0,16	84,2	0,12	107,3	0,11	136,2	0,09
28,1	0,48	35,8	0,41	45,3	0,36	57,4	0,31	70,8	0,28	112,3	0,21	143,1	0,18	181,6	0,16
35,2	0,72	44,7	0,62	56,6	0,54	71,8	0,47	88,5	0,42	140,3	0,32	178,9	0,28	227,1	0,24
42,2	1,01	53,6	0,88	68,0	0,76	86,2	0,66	106,1	0,59	168,4	0,45	214,6	0,39	272,5	0,34
49,2	1,34	62,6	1,16	79,3	1,01	100,5	0,88	123,8	0,78	196,5	0,60	250,4	0,52	317,9	0,45
56,2	1,72	71,5	1,49	90,6	1,30	114,9	1,13	141,5	1,00	224,5	0,77	286,2	0,66	363,3	0,58
63,3	2,13	80,5	1,86	102,0	1,62	129,2	1,41	159,2	1,25	252,6	0,95	322,0	0,83	408,7	0,72
70,3	2,59	89,4	2,26	113,3	1,96	143,6	1,71	176,9	1,51	280,7	1,16	357,7	1,00	454,1	0,87
77,3	3,10	98,3	2,69	124,6	2,34	158,0	2,04	194,6	1,81	308,7	1,38	393,5	1,20	499,5	1,04
84,4	3,64	107,3	3,16	136,0	2,75	172,3	2,40	212,3	2,12	336,8	1,62	429,3	1,41	544,9	1,22
91,4	4,22	116,2	3,67	147,3	3,19	186,7	2,78	230,0	2,46	364,9	1,88	465,1	1,63	590,4	1,42
98,4	4,84	125,2	4,21	158,6	3,66	201,0	3,19	247,7	2,82	392,9	2,16	500,8	1,87	635,8	1,63
105,5	5,50	134,1	4,78	169,9	4,16	215,4	3,62	265,4	3,21	421,0	2,45	536,6	2,13	681,2	1,85
112,5	6,20	143,1	5,39	181,3	4,69	229,8	4,08	283,1	3,62	449,1	2,76	572,4	2,40	726,6	2,09
119,5	6,93	152,0	6,03	192,6	5,25	244,1	4,57	300,7	4,05	477,1	3,09	608,2	2,68	772,0	2,33
126,6	7,71	160,9	6,70	203,9	5,83	258,5	5,08	318,4	4,50	505,2	3,44	643,9	2,98	817,4	2,59
133,6	8,52	169,9	7,40	215,3	6,45	272,8	5,62	336,1	4,97	533,3	3,80	679,7	3,30	862,8	2,87
140,6	9,37	178,8	8,14	226,6	7,09	287,2	6,17	353,8	5,47	561,3	4,18	715,5	3,63	908,2	3,15
147,6	10,3	187,8	8,91	237,9	7,76	301,6	6,76	371,5	5,98	589,4	4,57	751,3	3,97	953,7	3,45
154,7	11,2	196,7	9,71	249,2	8,46	315,9	7,37	389,2	6,52	617,5	4,98	787,0	4,32	999,1	3,76
161,7	12,1	205,6	10,5	260,6	9,19	330,3	8,00	406,9	7,08	645,5	5,41	822,8	4,70	1044,5	4,09
168,7	13,1	214,6	11,4	271,9	9,94	344,6	8,65	424,6	7,66	673,6	5,85	858,6	5,08	1089,9	4,42
175,8	14,2	223,5	12,3	283,2	10,7	359,0	9,33	442,3	8,26	701,7	6,31	894,4	5,48	1135,3	4,77
182,8	15,2	232,5	13,2	294,6	11,5	373,4	10,0	460,0	8,89	729,8	6,79	930,1	5,89	1180,7	5,13
189,8	16,3	241,4	14,2	305,9	12,4	387,7	10,8	477,6	9,53	757,8	7,28	965,9	6,32	1226,1	5,50
196,9	17,5	250,3	15,2	317,2	13,2	402,1	11,5	495,3	10,2	785,9	7,79	1001,7	6,76	1271,5	5,88
203,9	18,6	259,3	16,2	328,5	14,1	416,5	12,3	513,0	10,9	814,0	8,31	1037,4	7,21	1317,0	6,28
210,9	19,8	268,2	17,3	339,9	15,0	430,8	13,1	530,7	11,6	842,0	8,85	1073,2	7,68	1362,4	6,68
218,0	21,1	277,2	18,3	351,2	16,0	445,2	13,9	548,4	12,3	870,1	9,40	1109,0	8,16	1407,8	7,10
225,0	22,4	286,1	19,4	362,5	16,9	459,5	14,7	566,1	13,1	898,2	10,0	1144,8	8,7	1453,2	7,5
232,0	23,7	295,0	20,6	373,9	17,9	473,9	15,6	583,8	13,8	926,2	10,6	1180,5	9,2	1498,6	8,0
239,1	25,0	304,0	21,8	385,2	18,9	488,3	16,5	601,5	14,6	954,3	11,2	1216,3	9,7	1544,0	8,4
246,1	26,4	312,9	23,0	396,5	20,0	502,6	17,4	619,2	15,4	982,4	11,8	1252,1	10,2	1589,4	8,9
253,1	27,8	321,9	24,2	407,9	21,1	517,0	18,3	636,9	16,2	1010,4	12,4	1287,9	10,8	1634,8	9,4
260,1	29,3	330,8	25,4	419,2	22,2	531,3	19,3	654,6	17,1	1038,5	13,0	1323,6	11,3	1680,3	9,9
267,2	30,7	339,8	26,7	430,5	23,3	545,7	20,3	672,2	17,9	1066,6	13,7	1359,4	11,9	1725,7	10,4
274,2	32,3	348,7	28,0	441,8	24,4	560,1	21,3	689,9	18,8	1094,6	14,4	1395,2	12,5	1771,1	10,9
281,2	33,8	357,6	29,4	453,2	25,6	574,4	22,3	707,6	19,7	1122,7	15,1	1431,0	13,1	1816,5	11,4

PVC-O PN16

D.interior	DN90 PN16 84,0		DN110 PN16 104,0		DN140 PN16 132,4		DN160 PN16 151,4		DN200 PN16 189,2		DN225 PN16 212,8		DN250 PN16 236,4	
velocidad	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J
(m/s)	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km
0,1	0,55	0,16	0,85	0,13	1,38	0,09	1,80	0,08	2,81	0,06	3,56	0,05	4,39	0,05
0,2	1,11	0,58	1,70	0,45	2,75	0,34	3,60	0,29	5,62	0,22	7,11	0,20	8,78	0,17
0,3	1,66	1,23	2,55	0,96	4,13	0,72	5,40	0,62	8,43	0,48	10,7	0,42	13,2	0,37
0,4	2,22	2,09	3,40	1,63	5,51	1,23	7,20	1,05	11,2	0,81	14,2	0,71	17,6	0,63
0,5	2,77	3,17	4,25	2,47	6,88	1,86	9,00	1,59	14,1	1,23	17,8	1,07	21,9	0,95
0,6	3,33	4,44	5,10	3,46	8,26	2,61	10,8	2,23	16,9	1,72	21,3	1,50	26,3	1,33
0,7	3,88	5,90	5,95	4,60	9,64	3,47	12,6	2,97	19,7	2,29	24,9	1,99	30,7	1,76
0,8	4,43	7,56	6,80	5,89	11,0	4,44	14,4	3,80	22,5	2,93	28,5	2,55	35,1	2,26
0,9	4,99	9,40	7,65	7,33	12,4	5,53	16,2	4,73	25,3	3,64	32,0	3,18	39,5	2,81
1,0	5,54	11,43	8,49	8,91	13,8	6,72	18,0	5,75	28,1	4,43	35,6	3,86	43,9	3,42
1,1	6,10	13,6	9,34	10,6	15,1	8,02	19,8	6,85	30,9	5,28	39,1	4,61	48,3	4,08
1,2	6,7	16,0	10,2	12,5	16,5	9,42	21,6	8,05	33,7	6,21	42,7	5,41	52,7	4,79
1,3	7,2	18,6	11,0	14,5	17,9	10,9	23,4	9,34	36,5	7,20	46,2	6,28	57,1	5,55
1,4	7,8	21,3	11,9	16,6	19,3	12,5	25,2	10,7	39,4	8,26	49,8	7,20	61,4	6,37
1,5	8,3	24,2	12,7	18,9	20,7	14,2	27,0	12,2	42,2	9,39	53,3	8,18	65,8	7,24
1,6	8,9	27,3	13,6	21,3	22,0	16,0	28,8	13,7	45,0	10,6	56,9	9,22	70,2	8,16
1,7	9,4	30,5	14,4	23,8	23,4	18,0	30,6	15,4	47,8	11,8	60,5	10,32	74,6	9,13
1,8	10,0	33,9	15,3	26,4	24,8	20,0	32,4	17,1	50,6	13,2	64,0	11,5	79,0	10,1
1,9	10,5	37,5	16,1	29,2	26,2	22,1	34,2	18,9	53,4	14,5	67,6	12,7	83,4	11,2
2,0	11,1	41,2	17,0	32,1	27,5	24,3	36,0	20,7	56,2	16,0	71,1	13,9	87,8	12,3
2,1	11,6	45,1	17,8	35,2	28,9	26,5	37,8	22,7	59,0	17,5	74,7	15,3	92,2	13,5
2,2	12,2	49,2	18,7	38,4	30,3	28,9	39,6	24,7	61,9	19,1	78,2	16,6	96,6	14,7
2,3	12,7	53,4	19,5	41,6	31,7	31,4	41,4	26,9	64,7	20,7	81,8	18,1	101,0	16,0
2,4	13,3	57,8	20,4	45,1	33,0	34,0	43,2	29,1	67,5	22,4	85,4	19,5	105,3	17,3
2,5	13,9	62,4	21,2	48,6	34,4	36,7	45,0	31,4	70,3	24,2	88,9	21,1	109,7	18,6
2,6	14,4	67,1	22,1	52,3	35,8	39,4	46,8	33,7	73,1	26,0	92,5	22,7	114,1	20,0
2,7	15,0	71,9	22,9	56,0	37,2	42,3	48,6	36,2	75,9	27,9	96,0	24,3	118,5	21,5
2,8	15,5	76,9	23,8	59,9	38,5	45,2	50,4	38,7	78,7	29,8	99,6	26,0	122,9	23,0
2,9	16,1	82,1	24,6	64,0	39,9	48,3	52,2	41,3	81,5	31,8	103,1	27,7	127,3	24,5
3,0	16,6	87,4	25,5	68,1	41,3	51,4	54,0	43,9	84,3	33,9	106,7	29,5	131,7	26,1
3,1	17,2	92,9	26,3	72,4	42,7	54,6	55,8	46,7	87,2	36,0	110,3	31,4	136,1	27,8
3,2	17,7	98,5	27,2	76,8	44,1	57,9	57,6	49,5	90,0	38,2	113,8	33,3	140,5	29,4
3,3	18,3	104,3	28,0	81,3	45,4	61,3	59,4	52,4	92,8	40,4	117,4	35,2	144,8	31,2
3,4	18,8	110,2	28,9	85,9	46,8	64,8	61,2	55,4	95,6	42,7	120,9	37,2	149,2	32,9
3,5	19,4	116,3	29,7	90,6	48,2	68,4	63,0	58,5	98,4	45,1	124,5	39,3	153,6	34,8
3,6	20,0	122,5	30,6	95,5	49,6	72,0	64,8	61,6	101,2	47,5	128,0	41,4	158,0	36,6
3,7	20,5	128,9	31,4	100,5	50,9	75,8	66,6	64,8	104,0	50,0	131,6	43,6	162,4	38,5
3,8	21,1	135,4	32,3	105,5	52,3	79,6	68,4	68,1	106,8	52,5	135,2	45,8	166,8	40,5
3,9	21,6	142,1	33,1	110,7	53,7	83,5	70,2	71,4	109,6	55,1	138,7	48,0	171,2	42,5
4,0	22,2	148,9	34,0	116,1	55,1	87,6	72,0	74,9	112,5	57,7	142,3	50,3	175,6	44,5

DN315 PN16 298,0		DN355 PN16 336,0		DN400 PN16 378,4		DN450 PN16 426,0		DN500 PN16 472,8		DN630 PN16 595,8		DN710 PN16 671,4		DN800 PN16 757,8	
caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J
l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km
6,97	0,04	8,87	0,03	11,2	0,03	14,3	0,02	17,6	0,02	27,9	0,02	35,4	0,01	45,1	0,01
13,9	0,13	17,7	0,12	22,5	0,10	28,5	0,09	35,1	0,08	55,8	0,06	70,8	0,05	90,2	0,04
20,9	0,28	26,6	0,24	33,7	0,21	42,8	0,18	52,7	0,16	83,6	0,12	106,2	0,11	135,3	0,09
27,9	0,48	35,5	0,42	45,0	0,36	57,0	0,31	70,2	0,28	111,5	0,21	141,6	0,19	180,4	0,16
34,9	0,72	44,3	0,63	56,2	0,55	71,3	0,48	87,8	0,42	139,4	0,32	177,0	0,28	225,5	0,24
41,8	1,01	53,2	0,88	67,5	0,77	85,5	0,67	105,3	0,59	167,3	0,45	212,4	0,39	270,6	0,34
48,8	1,35	62,1	1,17	78,7	1,02	99,8	0,89	122,9	0,79	195,2	0,60	247,8	0,52	315,7	0,45
55,8	1,72	70,9	1,50	90,0	1,30	114,0	1,14	140,5	1,01	223,0	0,77	283,2	0,67	360,8	0,58
62,8	2,14	79,8	1,86	101,2	1,62	128,3	1,41	158,0	1,25	250,9	0,96	318,6	0,83	405,9	0,72
69,7	2,61	88,7	2,27	112,5	1,97	142,5	1,72	175,6	1,52	278,8	1,16	354,0	1,01	451,0	0,88
76,7	3,11	97,5	2,70	123,7	2,35	156,8	2,05	193,1	1,81	306,7	1,39	389,4	1,21	496,1	1,05
83,7	3,65	106,4	3,18	135,0	2,77	171,0	2,41	210,7	2,13	334,6	1,63	424,8	1,42	541,2	1,23
90,7	4,24	115,3	3,68	146,2	3,21	185,3	2,79	228,2	2,47	362,4	1,89	460,3	1,64	586,3	1,43
97,6	4,86	124,1	4,23	157,4	3,68	199,5	3,20	245,8	2,84	390,3	2,17	495,7	1,88	631,4	1,64
104,6	5,52	133,0	4,80	168,7	4,18	213,8	3,64	263,4	3,22	418,2	2,46	531,1	2,14	676,5	1,86
111,6	6,23	141,9	5,41	179,9	4,71	228,0	4,10	280,9	3,63	446,1	2,77	566,5	2,41	721,6	2,09
118,6	6,96	150,7	6,05	191,2	5,27	242,3	4,59	298,5	4,06	474,0	3,10	601,9	2,70	766,7	2,34
125,5	7,74	159,6	6,73	202,4	5,86	256,6	5,10	316,0	4,52	501,8	3,45	637,3	3,00	811,8	2,61
132,5	8,56	168,5	7,44	213,7	6,48	270,8	5,64	333,6	4,99	529,7	3,81	672,7	3,32	856,9	2,88
139,5	9,41	177,3	8,18	224,9	7,12	285,1	6,20	351,1	5,49	557,6	4,19	708,1	3,65	902,0	3,17
146,5	10,3	186,2	8,95	236,2	7,79	299,3	6,79	368,7	6,01	585,5	4,59	743,5	3,99	947,1	3,47
153,4	11,2	195,1	9,76	247,4	8,50	313,6	7,40	386,2	6,55	613,4	5,00	778,9	4,35	992,3	3,78
160,4	12,2	203,9	10,6	258,7	9,23	327,8	8,03	403,8	7,11	641,2	5,43	814,3	4,72	1037,4	4,10
167,4	13,2	212,8	11,5	269,9	9,98	342,1	8,69	421,4	7,70	669,1	5,88	849,7	5,11	1082,5	4,44
174,4	14,2	221,7	12,4	281,1	10,8	356,3	9,38	438,9	8,30	697,0	6,34	885,1	5,51	1127,6	4,79
181,3	15,3	230,5	13,3	292,4	11,6	370,6	10,1	456,5	8,93	724,9	6,82	920,5	5,93	1172,7	5,15
188,3	16,4	239,4	14,3	303,6	12,4	384,8	10,8	474,0	9,57	752,8	7,31	955,9	6,36	1217,8	5,52
195,3	17,5	248,3	15,3	314,9	13,3	399,1	11,6	491,6	10,2	780,6	7,82	991,3	6,80	1262,9	5,91
202,3	18,7	257,1	16,3	326,1	14,2	413,3	12,3	509,1	10,9	808,5	8,34	1026,7	7,26	1308,0	6,30
209,2	19,9	266,0	17,3	337,4	15,1	427,6	13,1	526,7	11,6	836,4	8,88	1062,1	7,73	1353,1	6,71
216,2	21,2	274,9	18,4	348,6	16,0	441,8	14,0	544,3	12,4	864,3	9,44	1097,5	8,21	1398,2	7,13
223,2	22,5	283,7	19,5	359,9	17,0	456,1	14,8	561,8	13,1	892,2	10,0	1132,9	8,7	1443,3	7,6
230,2	23,8	292,6	20,7	371,1	18,0	470,4	15,7	579,4	13,9	920,0	10,6	1168,3	9,2	1488,4	8,0
237,1	25,1	301,5	21,9	382,4	19,0	484,6	16,6	596,9	14,7	947,9	11,2	1203,7	9,7	1533,5	8,5
244,1	26,5	310,3	23,1	393,6	20,1	498,9	17,5	614,5	15,5	975,8	11,8	1239,1	10,3	1578,6	8,9
251,1	28,0	319,2	24,3	404,9	21,2	513,1	18,4	632,0	16,3	1003,7	12,5	1274,5	10,8	1623,7	9,4
258,1	29,4	328,1	25,6	416,1	22,3	527,4	19,4	649,6	17,2	1031,6	13,1	1309,9	11,4	1668,8	9,9
265,0	30,9	336,9	26,9	427,3	23,4	541,6	20,4	667,2	18,0	1059,4	13,8	1345,4	12,0	1713,9	10,4
272,0	32,4	345,8	28,2	438,6	24,5	555,9	21,4	684,7	18,9	1087,3	14,4	1380,8	12,6	1759,0	10,9
279,0	34,0	354,7	29,5	449,8	25,7	570,1	22,4	702,3	19,8	1115,2	15,1	1416,2	13,2	1804,1	11,4

PVC-O PN20

D.interior	DN90 PN20 84,0		DN110 PN20 103,2		DN140 PN20 131,2		DN160 PN20 150,0		DN200 PN20 187,4		DN225 PN20 210,8		DN250 PN20 234,2	
velocidad	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J
(m/s)	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km
0,1	0,55	0,16	0,84	0,13	1,35	0,10	1,77	0,08	2,76	0,06	3,49	0,05	4,31	0,05
0,2	1,11	0,58	1,67	0,46	2,70	0,34	3,53	0,29	5,52	0,23	6,98	0,20	8,62	0,18
0,3	1,66	1,23	2,51	0,97	4,06	0,73	5,30	0,62	8,27	0,48	10,5	0,42	12,9	0,37
0,4	2,22	2,09	3,35	1,65	5,41	1,24	7,07	1,06	11,0	0,82	14,0	0,72	17,2	0,63
0,5	2,77	3,17	4,18	2,49	6,76	1,88	8,84	1,61	13,8	1,24	17,5	1,08	21,5	0,96
0,6	3,33	4,44	5,02	3,49	8,11	2,64	10,6	2,26	16,5	1,74	20,9	1,52	25,8	1,34
0,7	3,88	5,90	5,86	4,64	9,46	3,51	12,4	3,00	19,3	2,31	24,4	2,02	30,2	1,78
0,8	4,43	7,56	6,69	5,94	10,8	4,49	14,1	3,84	22,1	2,96	27,9	2,58	34,5	2,28
0,9	4,99	9,40	7,53	7,39	12,2	5,59	15,9	4,78	24,8	3,69	31,4	3,21	38,8	2,84
1,0	5,54	11,43	8,36	8,99	13,5	6,79	17,7	5,81	27,6	4,48	34,9	3,90	43,1	3,45
1,1	6,10	13,6	9,20	10,7	14,9	8,10	19,4	6,93	30,3	5,34	38,4	4,66	47,4	4,12
1,2	6,7	16,0	10,0	12,6	16,2	9,52	21,2	8,14	33,1	6,28	41,9	5,47	51,7	4,84
1,3	7,2	18,6	10,9	14,6	17,6	11,0	23,0	9,44	35,9	7,28	45,4	6,35	56,0	5,61
1,4	7,8	21,3	11,7	16,8	18,9	12,7	24,7	10,8	38,6	8,35	48,9	7,28	60,3	6,44
1,5	8,3	24,2	12,5	19,0	20,3	14,4	26,5	12,3	41,4	9,49	52,4	8,27	64,6	7,32
1,6	8,9	27,3	13,4	21,5	21,6	16,2	28,3	13,9	44,1	10,7	55,8	9,32	68,9	8,25
1,7	9,4	30,5	14,2	24,0	23,0	18,1	30,0	15,5	46,9	12,0	59,3	10,43	73,2	9,23
1,8	10,0	33,9	15,1	26,7	24,3	20,2	31,8	17,3	49,6	13,3	62,8	11,6	77,5	10,3
1,9	10,5	37,5	15,9	29,5	25,7	22,3	33,6	19,1	52,4	14,7	66,3	12,8	81,8	11,3
2,0	11,1	41,2	16,7	32,4	27,0	24,5	35,3	21,0	55,2	16,2	69,8	14,1	86,2	12,5
2,1	11,6	45,1	17,6	35,5	28,4	26,8	37,1	22,9	57,9	17,7	73,3	15,4	90,5	13,6
2,2	12,2	49,2	18,4	38,7	29,7	29,2	38,9	25,0	60,7	19,3	76,8	16,8	94,8	14,9
2,3	12,7	53,4	19,2	42,0	31,1	31,8	40,6	27,2	63,4	20,9	80,3	18,3	99,1	16,1
2,4	13,3	57,8	20,1	45,5	32,4	34,4	42,4	29,4	66,2	22,7	83,8	19,8	103,4	17,5
2,5	13,9	62,4	20,9	49,0	33,8	37,1	44,2	31,7	69,0	24,4	87,3	21,3	107,7	18,8
2,6	14,4	67,1	21,7	52,7	35,2	39,9	45,9	34,1	71,7	26,3	90,7	22,9	112,0	20,3
2,7	15,0	71,9	22,6	56,6	36,5	42,7	47,7	36,6	74,5	28,2	94,2	24,6	116,3	21,7
2,8	15,5	76,9	23,4	60,5	37,9	45,7	49,5	39,1	77,2	30,2	97,7	26,3	120,6	23,2
2,9	16,1	82,1	24,3	64,6	39,2	48,8	51,2	41,7	80,0	32,2	101,2	28,0	124,9	24,8
3,0	16,6	87,4	25,1	68,7	40,6	51,9	53,0	44,4	82,7	34,3	104,7	29,9	129,2	26,4
3,1	17,2	92,9	25,9	73,0	41,9	55,2	54,8	47,2	85,5	36,4	108,2	31,7	133,5	28,1
3,2	17,7	98,5	26,8	77,5	43,3	58,5	56,5	50,1	88,3	38,6	111,7	33,7	137,9	29,8
3,3	18,3	104,3	27,6	82,0	44,6	62,0	58,3	53,0	91,0	40,9	115,2	35,6	142,2	31,5
3,4	18,8	110,2	28,4	86,7	46,0	65,5	60,1	56,0	93,8	43,2	118,7	37,7	146,5	33,3
3,5	19,4	116,3	29,3	91,4	47,3	69,1	61,9	59,1	96,5	45,6	122,2	39,7	150,8	35,1
3,6	20,0	122,5	30,1	96,3	48,7	72,8	63,6	62,3	99,3	48,0	125,6	41,9	155,1	37,0
3,7	20,5	128,9	30,9	101,4	50,0	76,6	65,4	65,5	102,1	50,5	129,1	44,0	159,4	39,0
3,8	21,1	135,4	31,8	106,5	51,4	80,5	67,2	68,8	104,8	53,1	132,6	46,3	163,7	40,9
3,9	21,6	142,1	32,6	111,7	52,7	84,4	68,9	72,2	107,6	55,7	136,1	48,6	168,0	42,9
4,0	22,2	148,9	33,5	117,1	54,1	88,5	70,7	75,7	110,3	58,4	139,6	50,9	172,3	45,0

DN315 PN20 295,2		DN355 PN20 332,4		DN400 PN20 374,8		DN450 PN20 421,4		DN500 PN20 468,6		DN630 PN20 590,4		DN710 PN20 665,8		DN800 PN20 750,4	
caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J
l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km
6,84	0,04	8,68	0,03	11,0	0,03	13,9	0,02	17,2	0,02	27,4	0,02	34,8	0,01	44,2	0,01
13,7	0,13	17,4	0,12	22,1	0,10	27,9	0,09	34,5	0,08	54,8	0,06	69,6	0,05	88,5	0,05
20,5	0,28	26,0	0,25	33,1	0,21	41,8	0,19	51,7	0,17	82,1	0,13	104,4	0,11	132,7	0,10
27,4	0,48	34,7	0,42	44,1	0,37	55,8	0,32	69,0	0,28	109,5	0,22	139,3	0,19	176,9	0,16
34,2	0,73	43,4	0,64	55,2	0,55	69,7	0,48	86,2	0,43	136,9	0,33	174,1	0,28	221,1	0,25
41,1	1,02	52,1	0,89	66,2	0,77	83,7	0,68	103,5	0,60	164,3	0,46	208,9	0,40	265,4	0,34
47,9	1,36	60,7	1,19	77,2	1,03	97,6	0,90	120,7	0,79	191,6	0,61	243,7	0,53	309,6	0,46
54,8	1,74	69,4	1,52	88,3	1,32	111,6	1,15	138,0	1,02	219,0	0,78	278,5	0,67	353,8	0,59
61,6	2,17	78,1	1,89	99,3	1,64	125,5	1,43	155,2	1,26	246,4	0,97	313,3	0,84	398,0	0,73
68,4	2,64	86,8	2,29	110,3	1,99	139,5	1,74	172,5	1,54	273,8	1,17	348,2	1,02	442,3	0,89
75,3	3,14	95,5	2,74	121,4	2,38	153,4	2,08	189,7	1,83	301,1	1,40	383,0	1,22	486,5	1,06
82,1	3,69	104,1	3,22	132,4	2,80	167,4	2,44	207,0	2,15	328,5	1,65	417,8	1,43	530,7	1,24
89,0	4,28	112,8	3,73	143,4	3,24	181,3	2,83	224,2	2,50	355,9	1,91	452,6	1,66	574,9	1,44
95,8	4,92	121,5	4,28	154,5	3,72	195,3	3,24	241,4	2,87	383,3	2,19	487,4	1,90	619,2	1,65
102,7	5,58	130,2	4,86	165,5	4,23	209,2	3,69	258,7	3,26	410,7	2,49	522,2	2,16	663,4	1,88
109,5	6,29	138,8	5,48	176,5	4,76	223,2	4,15	275,9	3,67	438,0	2,80	557,1	2,44	707,6	2,12
116,4	7,04	147,5	6,13	187,6	5,33	237,1	4,65	293,2	4,11	465,4	3,14	591,9	2,73	751,8	2,37
123,2	7,83	156,2	6,82	198,6	5,92	251,0	5,17	310,4	4,57	492,8	3,49	626,7	3,03	796,1	2,64
130,0	8,65	164,9	7,53	209,6	6,55	265,0	5,71	327,7	5,05	520,2	3,85	661,5	3,35	840,3	2,91
136,9	9,52	173,6	8,28	220,7	7,20	278,9	6,28	344,9	5,55	547,5	4,24	696,3	3,68	884,5	3,20
143,7	10,4	182,2	9,07	231,7	7,88	292,9	6,87	362,2	6,07	574,9	4,64	731,1	4,03	928,7	3,51
150,6	11,4	190,9	9,88	242,7	8,59	306,8	7,49	379,4	6,62	602,3	5,06	765,9	4,39	973,0	3,82
157,4	12,3	199,6	10,7	253,8	9,33	320,8	8,14	396,7	7,19	629,7	5,49	800,8	4,77	1017,2	4,15
164,3	13,3	208,3	11,6	264,8	10,09	334,7	8,80	413,9	7,78	657,0	5,94	835,6	5,16	1061,4	4,49
171,1	14,4	216,9	12,5	275,8	10,9	348,7	9,49	431,2	8,39	684,4	6,41	870,4	5,57	1105,6	4,84
177,9	15,5	225,6	13,5	286,9	11,7	362,6	10,2	448,4	9,02	711,8	6,89	905,2	5,99	1149,9	5,21
184,8	16,6	234,3	14,4	297,9	12,6	376,6	10,9	465,6	9,67	739,2	7,39	940,0	6,42	1194,1	5,58
191,6	17,7	243,0	15,4	308,9	13,4	390,5	11,7	482,9	10,3	766,6	7,90	974,8	6,87	1238,3	5,97
198,5	18,9	251,7	16,5	320,0	14,3	404,5	12,5	500,1	11,0	793,9	8,43	1009,7	7,33	1282,5	6,37
205,3	20,2	260,3	17,6	331,0	15,3	418,4	13,3	517,4	11,8	821,3	8,98	1044,5	7,80	1326,8	6,79
212,2	21,4	269,0	18,7	342,0	16,2	432,4	14,1	534,6	12,5	848,7	9,54	1079,3	8,29	1371,0	7,21
219,0	22,7	277,7	19,8	353,1	17,2	446,3	15,0	551,9	13,3	876,1	10,1	1114,1	8,8	1415,2	7,6
225,9	24,1	286,4	20,9	364,1	18,2	460,2	15,9	569,1	14,0	903,4	10,7	1148,9	9,3	1459,5	8,1
232,7	25,4	295,0	22,1	375,1	19,2	474,2	16,8	586,4	14,8	930,8	11,3	1183,7	9,8	1503,7	8,6
239,5	26,8	303,7	23,4	386,2	20,3	488,1	17,7	603,6	15,6	958,2	11,9	1218,6	10,4	1547,9	9,0
246,4	28,3	312,4	24,6	397,2	21,4	502,1	18,7	620,9	16,5	985,6	12,6	1253,4	10,9	1592,1	9,5
253,2	29,7	321,1	25,9	408,2	22,5	516,0	19,6	638,1	17,3	1012,9	13,2	1288,2	11,5	1636,4	10,0
260,1	31,2	329,8	27,2	419,2	23,6	530,0	20,6	655,4	18,2	1040,3	13,9	1323,0	12,1	1680,6	10,5
266,9	32,8	338,4	28,5	430,3	24,8	543,9	21,6	672,6	19,1	1067,7	14,6	1357,8	12,7	1724,8	11,0
273,8	34,3	347,1	29,9	441,3	26,0	557,9	22,7	689,8	20,0	1095,1	15,3	1392,6	13,3	1769,0	11,6

ANEXOS DE CÁLCULOS MÉCANICOS . . .

PVC-O PN25

D.interior	DN90 PN25 82,2		DN110 PN25 101,4		DN140 PN25 129,2		DN160 PN25 147,6		DN200 PN25 184,4		DN225 PN25 207,4	
velocidad	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J
(m/s)	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km
0,1	0,53	0,16	0,81	0,13	1,31	0,10	1,71	0,08	2,67	0,06	3,38	0,06
0,2	1,06	0,59	1,62	0,47	2,62	0,35	3,42	0,30	5,34	0,23	6,76	0,20
0,3	1,59	1,26	2,42	0,99	3,93	0,74	5,13	0,64	8,01	0,49	10,1	0,43
0,4	2,12	2,15	3,23	1,68	5,24	1,27	6,84	1,08	10,7	0,84	13,5	0,73
0,5	2,65	3,25	4,04	2,54	6,56	1,92	8,56	1,64	13,4	1,26	16,9	1,10
0,6	3,18	4,55	4,85	3,56	7,87	2,68	10,3	2,30	16,0	1,77	20,3	1,55
0,7	3,71	6,05	5,65	4,74	9,18	3,57	12,0	3,06	18,7	2,36	23,6	2,06
0,8	4,25	7,75	6,46	6,07	10,5	4,57	13,7	3,91	21,4	3,02	27,0	2,63
0,9	4,78	9,64	7,27	7,55	11,8	5,69	15,4	4,87	24,0	3,76	30,4	3,27
1,0	5,31	11,72	8,08	9,17	13,1	6,91	17,1	5,92	26,7	4,56	33,8	3,98
1,1	5,84	14,0	8,88	10,9	14,4	8,25	18,8	7,06	29,4	5,45	37,2	4,75
1,2	6,4	16,4	9,7	12,9	15,7	9,69	20,5	8,30	32,0	6,40	40,5	5,58
1,3	6,9	19,0	10,5	14,9	17,0	11,2	22,2	9,62	34,7	7,42	43,9	6,47
1,4	7,4	21,9	11,3	17,1	18,4	12,9	24,0	11,0	37,4	8,51	47,3	7,42
1,5	8,0	24,8	12,1	19,4	19,7	14,6	25,7	12,5	40,1	9,67	50,7	8,43
1,6	8,5	28,0	12,9	21,9	21,0	16,5	27,4	14,1	42,7	10,9	54,1	9,50
1,7	9,0	31,3	13,7	24,5	22,3	18,5	29,1	15,8	45,4	12,2	57,4	10,63
1,8	9,6	34,8	14,5	27,2	23,6	20,5	30,8	17,6	48,1	13,6	60,8	11,8
1,9	10,1	38,5	15,3	30,1	24,9	22,7	32,5	19,4	50,7	15,0	64,2	13,1
2,0	10,6	42,3	16,2	33,1	26,2	25,0	34,2	21,4	53,4	16,5	67,6	14,4
2,1	11,1	46,3	17,0	36,2	27,5	27,3	35,9	23,4	56,1	18,0	70,9	15,7
2,2	11,7	50,5	17,8	39,5	28,8	29,8	37,6	25,5	58,8	19,7	74,3	17,1
2,3	12,2	54,8	18,6	42,9	30,2	32,3	39,4	27,7	61,4	21,3	77,7	18,6
2,4	12,7	59,3	19,4	46,4	31,5	35,0	41,1	29,9	64,1	23,1	81,1	20,1
2,5	13,3	64,0	20,2	50,1	32,8	37,7	42,8	32,3	66,8	24,9	84,5	21,7
2,6	13,8	68,8	21,0	53,8	34,1	40,6	44,5	34,7	69,4	26,8	87,8	23,4
2,7	14,3	73,7	21,8	57,7	35,4	43,5	46,2	37,2	72,1	28,7	91,2	25,0
2,8	14,9	78,9	22,6	61,7	36,7	46,5	47,9	39,8	74,8	30,7	94,6	26,8
2,9	15,4	84,2	23,4	65,9	38,0	49,7	49,6	42,5	77,4	32,8	98,0	28,6
3,0	15,9	89,6	24,2	70,2	39,3	52,9	51,3	45,3	80,1	34,9	101,4	30,4
3,1	16,5	95,3	25,0	74,6	40,6	56,2	53,0	48,1	82,8	37,1	104,7	32,3
3,2	17,0	101,0	25,8	79,1	42,0	59,6	54,8	51,0	85,5	39,3	108,1	34,3
3,3	17,5	106,9	26,6	83,7	43,3	63,1	56,5	54,0	88,1	41,7	111,5	36,3
3,4	18,0	113,0	27,5	88,5	44,6	66,7	58,2	57,1	90,8	44,0	114,9	38,4
3,5	18,6	119,3	28,3	93,3	45,9	70,4	59,9	60,2	93,5	46,5	118,2	40,5
3,6	19,1	125,6	29,1	98,3	47,2	74,1	61,6	63,5	96,1	48,9	121,6	42,7
3,7	19,6	132,2	29,9	103,5	48,5	78,0	63,3	66,8	98,8	51,5	125,0	44,9
3,8	20,2	138,9	30,7	108,7	49,8	81,9	65,0	70,1	101,5	54,1	128,4	47,2
3,9	20,7	145,7	31,5	114,1	51,1	86,0	66,7	73,6	104,2	56,8	131,8	49,5
4,0	21,2	152,7	32,3	119,5	52,4	90,1	68,4	77,1	106,8	59,5	135,1	51,9

DN250 PN25 230,6		DN315 PN25 290,6		DN355 PN25 377,2		DN400 PN25 369,0		DN450 PN25 415,0		DN500 PN25 461,2		DN630 PN25 581,0	
caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J	caudal	J
l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km	l/s	m/km
4,18	0,05	6,63	0,04	8,41	0,03	10,7	0,03	13,5	0,02	16,7	0,02	26,5	0,02
8,35	0,18	13,3	0,14	16,8	0,12	21,4	0,10	27,1	0,09	33,4	0,08	53,0	0,06
12,5	0,38	19,9	0,29	25,2	0,25	32,1	0,22	40,6	0,19	50,1	0,17	79,5	0,13
16,7	0,64	26,5	0,49	33,6	0,43	42,8	0,37	54,1	0,32	66,8	0,29	106,0	0,22
20,9	0,97	33,2	0,74	42,0	0,65	53,5	0,56	67,6	0,49	83,5	0,43	132,6	0,33
25,1	1,37	39,8	1,04	50,5	0,91	64,2	0,79	81,2	0,69	100,2	0,61	159,1	0,46
29,2	1,82	46,4	1,39	58,9	1,21	74,9	1,05	94,7	0,91	116,9	0,81	185,6	0,62
33,4	2,33	53,1	1,78	67,3	1,55	85,6	1,34	108,2	1,17	133,6	1,04	212,1	0,79
37,6	2,89	59,7	2,21	75,7	1,92	96,2	1,67	121,7	1,46	150,4	1,29	238,6	0,98
41,8	3,52	66,3	2,68	84,1	2,34	106,9	2,03	135,3	1,77	167,1	1,57	265,1	1,20
45,9	4,19	73,0	3,20	92,5	2,79	117,6	2,42	148,8	2,11	183,8	1,87	291,6	1,43
50,1	4,93	79,6	3,76	100,9	3,28	128,3	2,85	162,3	2,48	200,5	2,19	318,1	1,68
54,3	5,72	86,2	4,36	109,3	3,80	139,0	3,30	175,8	2,88	217,2	2,55	344,7	1,94
58,5	6,56	92,9	5,01	117,7	4,36	149,7	3,79	189,4	3,30	233,9	2,92	371,2	2,23
62,6	7,45	99,5	5,69	126,1	4,95	160,4	4,30	202,9	3,75	250,6	3,32	397,7	2,53
66,8	8,40	106,1	6,41	134,5	5,58	171,1	4,85	216,4	4,23	267,3	3,74	424,2	2,86
71,0	9,39	112,8	7,17	142,9	6,24	181,8	5,43	230,0	4,73	284,0	4,18	450,7	3,20
75,2	10,4	119,4	7,97	151,4	6,94	192,5	6,03	243,5	5,26	300,7	4,65	477,2	3,55
79,4	11,5	126,0	8,81	159,8	7,67	203,2	6,67	257,0	5,81	317,4	5,14	503,7	3,93
83,5	12,7	132,7	9,69	168,2	8,44	213,9	7,33	270,5	6,39	334,1	5,65	530,2	4,32
87,7	13,9	139,3	10,6	176,6	9,24	224,6	8,03	284,1	7,00	350,8	6,19	556,8	4,73
91,9	15,1	145,9	11,6	185,0	10,07	235,3	8,75	297,6	7,63	367,5	6,74	583,3	5,15
96,1	16,4	152,5	12,6	193,4	10,9	246,0	9,50	311,1	8,28	384,2	7,32	609,8	5,59
100,2	17,8	159,2	13,6	201,8	11,8	256,7	10,28	324,6	8,96	400,9	7,92	636,3	6,05
104,4	19,2	165,8	14,7	210,2	12,8	267,4	11,1	338,2	9,67	417,6	8,55	662,8	6,53
108,6	20,6	172,4	15,8	218,6	13,7	278,0	11,9	351,7	10,4	434,4	9,19	689,3	7,02
112,8	22,1	179,1	16,9	227,0	14,7	288,7	12,8	365,2	11,1	451,1	9,85	715,8	7,53
116,9	23,7	185,7	18,1	235,4	15,7	299,4	13,7	378,7	11,9	467,8	10,5	742,3	8,05
121,1	25,3	192,3	19,3	243,8	16,8	310,1	14,6	392,3	12,7	484,5	11,2	768,8	8,59
125,3	26,9	199,0	20,5	252,3	17,9	320,8	15,5	405,8	13,5	501,2	12,0	795,4	9,15
129,5	28,6	205,6	21,8	260,7	19,0	331,5	16,5	419,3	14,4	517,9	12,7	821,9	9,72
133,6	30,3	212,2	23,1	269,1	20,2	342,2	17,5	432,8	15,3	534,6	13,5	848,4	10,3
137,8	32,1	218,9	24,5	277,5	21,3	352,9	18,5	446,4	16,2	551,3	14,3	874,9	10,9
142,0	33,9	225,5	25,9	285,9	22,5	363,6	19,6	459,9	17,1	568,0	15,1	901,4	11,5
146,2	35,8	232,1	27,3	294,3	23,8	374,3	20,7	473,4	18,0	584,7	15,9	927,9	12,2
150,4	37,7	238,8	28,8	302,7	25,1	385,0	21,8	487,0	19,0	601,4	16,8	954,4	12,8
154,5	39,7	245,4	30,3	311,1	26,4	395,7	22,9	500,5	20,0	618,1	17,7	980,9	13,5
158,7	41,7	252,0	31,8	319,5	27,7	406,4	24,1	514,0	21,0	634,8	18,6	1007,5	14,2
162,9	43,7	258,7	33,4	327,9	29,1	417,1	25,3	527,5	22,0	651,5	19,5	1034,0	14,9
167,1	45,8	265,3	35,0	336,3	30,5	427,8	26,5	541,1	23,1	668,2	20,4	1060,5	15,6

7.2 Coeficientes de pérdidas de carga localizada (k_l)

7.2.1. Ensanchamientos y estrechamientos

7.2.1.1 Expansiones bruscas

Para valores de $Re < 10$:

$$k_l = 26/Re$$

Para valores $10 < Re < 3500$:

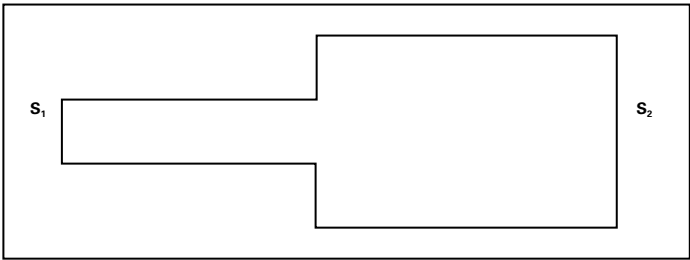
Véase el valor k_l en la tabla

Para valores de $Re > 3500$:

$$k_l = (1 - (S_1/S_2))^2$$

Fórmula de cálculo nº de Reynolds:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$



S_1/S_2	Re												
	10	15	20	30	40	50	1,E+02	2,E+02	5,E+02	1,E+03	2,E+03	3,E+03	3,5E+03
0,1	3,10	3,20	3,00	2,40	2,15	1,95	1,70	1,65	1,70	2,00	1,60	1,00	0,81
0,2	3,10	3,20	2,80	2,20	1,85	1,65	1,40	1,30	1,30	1,60	1,25	0,70	0,64
0,3	3,10	3,10	2,60	2,00	1,60	1,40	1,20	1,10	1,10	1,30	0,95	0,60	0,50
0,4	3,10	3,00	2,40	1,80	1,50	1,30	1,10	1,00	0,85	1,05	0,80	0,40	0,36
0,5	3,10	2,70	2,30	1,65	1,35	1,15	0,90	0,75	0,65	0,90	0,65	0,30	0,25
0,6	3,10	2,50	2,15	1,55	1,25	1,05	0,80	0,60	0,40	0,60	0,50	0,20	0,16

7.2.1.2 Contracciones bruscas

Para valores de $1 < Re < 8$:

$$k_l = 27/Re$$

Para valores $8 < Re < 10^4$:

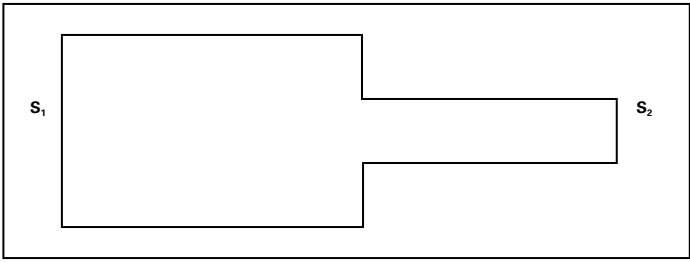
Véase el valor k_l en la tabla

Para valores de $Re > 3500$:

$$k_l = (1 - (S_1/S_2))^2$$

Fórmula de cálculo nº de Reynolds:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

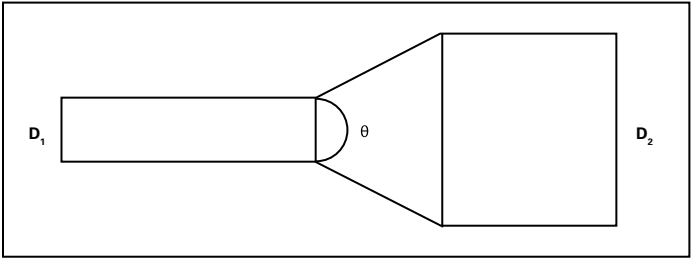


S ₁ /S ₂	Re														
	10	20	30	40	50	1,E+02	2,E+02	5,E+02	1,E+03	2,E+03	4,E+03	5,0E+03	1,E+04	>1,0E+04	
0,1	5,00	3,20	2,40	2,00	1,80	1,30	1,04	0,82	0,64	0,50	0,80	0,75	0,50	0,45	
0,2	5,00	3,10	2,30	1,84	1,62	1,20	0,95	0,70	0,50	0,40	0,60	0,60	0,40	0,40	
0,3	5,00	2,95	2,15	1,70	1,50	1,10	0,85	0,60	0,44	0,30	0,55	0,55	0,35	0,35	
0,4	5,00	2,80	2,00	1,60	1,40	1,00	0,78	0,50	0,35	0,25	0,45	0,50	0,30	0,30	
0,5	5,00	2,70	1,80	1,46	1,30	0,90	0,65	0,42	0,30	0,20	0,40	0,42	0,25	0,25	
0,6	5,00	2,60	1,70	1,35	1,35	0,80	0,56	0,35	0,24	0,15	0,35	0,20	0,20	0,25	

7.2.1.3 Expansiones suaves

D ₂ /D ₁	Re								
	20º	40º	60º	80º	100º	120º	140º	160º	180º
1,5	0,4	0,95	1,2	1,15	1,1	1,05	1,02	1	1
3	0,4	0,8	1	1,05	1,05	1,05	1,02	1	1

Fórmula de cálculo:



$$K_i = C_a \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2$$

Donde:

A₁ : Sección de la tubería 1

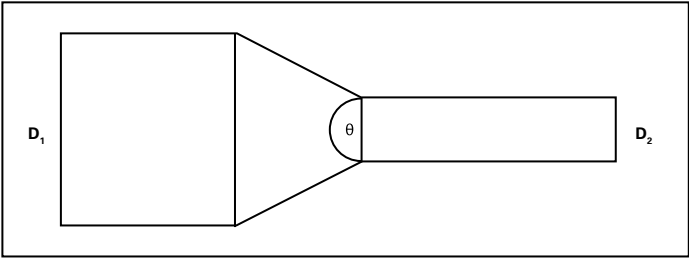
A₂: Sección de la tubería 2

Ejemplo:

	D ₁ (mm)	A (mm²)	D ₂ /D ₁	θ	C _a	k _i
DN110 PN16	104	8494,87				
DN160 PN16	151,4	18002,9	1,5	80º	1,15	1,441

7.2.1.4 Contracciones suaves

θ	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	80
k _i	0,16	0,18	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28	0,3	0,32	0,34	0,35



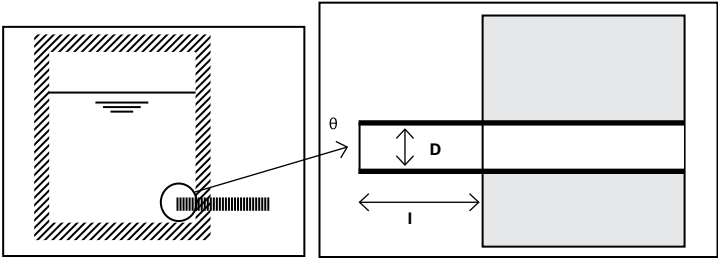
7.2.2 Salida y entrada de depósito

7.2.2.1 Salida de una tubería desde depósito sin colector

e/D	l/D						
	0	0,005	0,01	0,05	0,2	0,3	∞
0,000	0,50	0,63	0,68	0,80	0,92	0,97	1,00
0,004	0,50	0,58	0,63	0,74	0,86	0,90	0,94
0,008	0,50	0,55	0,58	0,68	0,81	0,85	0,88
0,012	0,50	0,53	0,55	0,63	0,75	0,79	0,83
0,016	0,50	0,51	0,53	0,58	0,70	0,74	0,77
0,020	0,50	0,51	0,52	0,55	0,66	0,69	0,72
0,024	0,50	0,50	0,51	0,53	0,62	0,65	0,68
0,030	0,50	0,50	0,51	0,52	0,57	0,59	0,61
0,040	0,50	0,50	0,51	0,51	0,52	0,52	0,54
0,050	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
∞	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Ejemplo: DN160 PN16

e(mm): 3,5
D_i(mm): 151,4
l(mm): 30
e/D: 0,02312
l/D: 0,20
k_t: 0,62

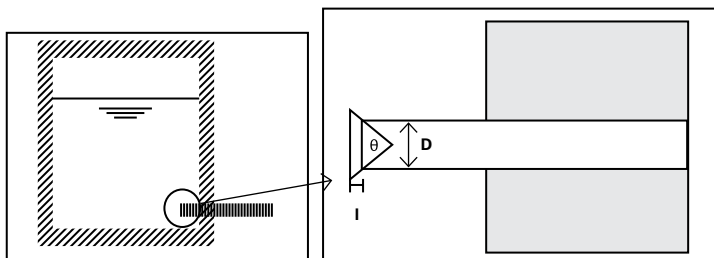


7.2.2.2 Salida de una tubería desde depósito con cono colector

l/D	θ								
	0º	10º	20º	30º	40º	60º	100º	140º	180º
0,025	1,00	0,96	0,93	0,90	0,86	0,80	0,69	0,59	0,50
0,050	1,00	0,93	0,86	0,80	0,75	0,67	0,58	0,53	0,50
0,075	1,00	0,87	0,75	0,65	0,58	0,50	0,48	0,49	0,50
0,100	1,00	0,80	0,67	0,55	0,48	0,41	0,41	0,44	0,50
0,150	1,00	0,76	0,58	0,43	0,33	0,25	0,27	0,38	0,50
0,250	1,00	0,68	0,45	0,30	0,22	0,17	0,22	0,34	0,50
0,600	1,00	0,46	0,27	0,18	0,14	0,13	0,21	0,33	0,50
1,000	1,00	0,32	0,20	0,14	0,11	0,10	0,18	0,30	0,50

Ejemplo: DN160 PN16

$D_i(\text{mm})$: 151,4
 $l(\text{mm})$: 23
 θ : 20°
 l/D : 0,15
 k_f : **0,58**

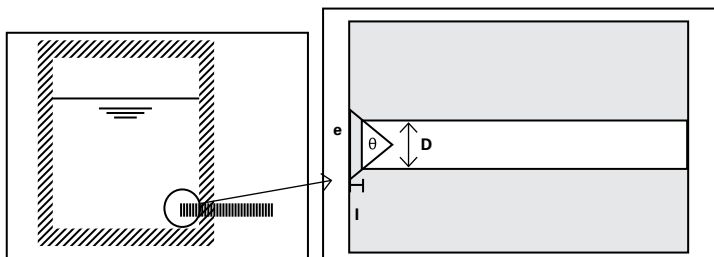


7.2.2.3 Salida con cono colector embutido en el muro de un depósito

l/D	θ								
	0°	10°	20°	30°	40°	60°	100°	140°	180°
0,025	0,50	0,47	0,45	0,43	0,41	0,40	0,42	0,45	0,50
0,050	0,50	0,45	0,51	0,36	0,33	0,30	0,50	0,42	0,50
0,075	0,50	0,42	0,35	0,30	0,23	0,23	0,30	0,40	0,50
0,100	0,50	0,39	0,32	0,25	0,22	0,18	0,27	0,38	0,50
0,150	0,50	0,37	0,27	0,20	0,16	0,15	0,25	0,37	0,50
0,600	0,50	0,27	0,18	0,13	0,11	0,12	0,23	0,36	0,50

Ejemplo: DN160 PN16

$D_i(\text{mm})$: 151,4
 $l(\text{mm})$: 23
 θ : 20°
 l/D : 0,15
 k_f : **0,27**



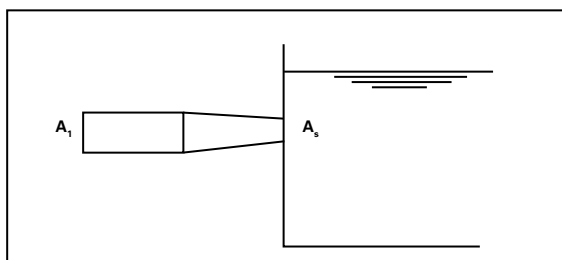
7.2.2.4 Entrada de tubería a depósito

A_2/A_1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
k_f	0,83	0,84	0,85	0,87	0,88	0,9	0,92	0,94	0,965	1,0

Ejemplo:

	$D_i(\text{mm})$	$A_i(\text{mm}^2)$
DN110 PN16	104	8494,87
DN160 PN16	151,4	18002,9

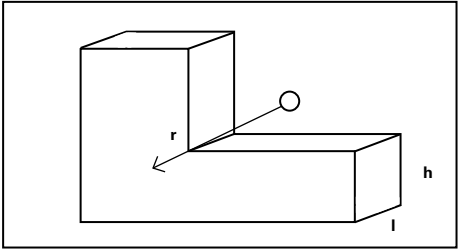
A_2/A_1 : 0,5
 k_f : **0,88**



7.2.3 Codos

7.2.3.1 Codos de 90°. Sección rectangular

	r/h	5/3	1	2/3
l/h	6	0,09	0,16	0,38
	3	0,15	0,22	0,55

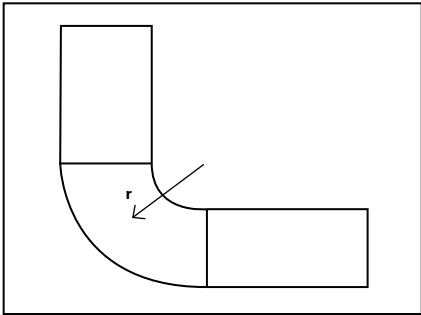


7.2.3.2 Codos de 90°. Sección circular

r (m)	V (m/s)												
	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	3,00	3,65	4,60	6,10	9,15	12,20
0,00	1,03	1,14	1,23	1,30	1,36	1,42	1,46	1,54	1,62	1,71	1,84	2,03	2,18
0,08	0,46	0,51	0,55	0,58	0,60	0,63	0,65	0,69	0,72	0,76	0,82	0,90	0,97
0,15	0,31	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,43	0,46	0,49	0,51	0,54	0,60	0,65
0,30	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,31	0,33	0,35	0,37	0,41	0,44
0,60	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,31	0,33	0,36	0,39
0,90	0,18	0,2	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30	0,33	0,36	0,39
1,20	0,18	0,2	0,21	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,30	0,32	0,35	0,38
1,50	0,18	0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,32	0,35	0,38
1,80	0,18	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,31	0,35	0,37
2,10	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,31	0,33	0,36	0,39
2,40	0,21	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,31	0,32	0,34	0,37	0,41	0,44
3,00	0,26	0,29	0,31	0,32	0,34	0,35	0,36	0,38	0,40	0,42	0,46	0,50	0,54
4,60	0,37	0,41	0,43	0,46	0,48	0,50	0,52	0,55	0,57	0,61	0,65	0,72	0,77
6,10	0,45	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,64	0,68	0,72	0,75	0,81	0,90	0,97
7,60	0,5	0,56	0,59	0,63	0,65	0,69	0,71	0,75	0,79	0,83	0,89	0,99	1,06

7.2.3.3 Codos de un ángulo distinto a 90°. Factor de corrección del valor k_f

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°
Factor	0	0,2	0,38	0,5	0,62	0,73	0,81	0,89	0,95	1	1,04	1,09	1,12



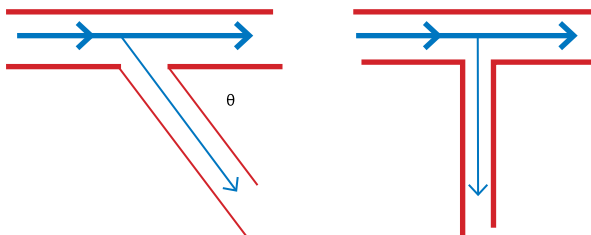
Ejemplo:

Para codos de 40°.													
r (m)	V(m/s)												
	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	3,00	3,65	4,60	6,10	9,15	12,20
0,00	0,64	0,71	0,76	0,81	0,84	0,88	0,91	0,95	1,00	1,06	1,14	1,26	1,35
0,08	0,29	0,32	0,34	0,36	0,37	0,39	0,40	0,43	0,45	0,47	0,51	0,56	0,60
0,15	0,19	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30	0,32	0,33	0,37	0,40
0,30	0,13	0,14	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27
0,60	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,24
0,90	0,11	0,12	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,24
1,20	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,19	0,20	0,22	0,24
1,50	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,20	0,22	0,24
1,80	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,22	0,23
2,10	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,24
2,40	0,13	0,14	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23	0,25	0,27
3,00	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	0,24	0,25	0,26	0,29	0,31	0,33
4,60	0,23	0,25	0,27	0,29	0,30	0,31	0,32	0,34	0,35	0,38	0,40	0,45	0,48
6,10	0,28	0,32	0,33	0,35	0,37	0,38	0,40	0,42	0,45	0,47	0,50	0,56	0,60
7,60	0,31	0,35	0,37	0,39	0,40	0,43	0,44	0,47	0,49	0,51	0,55	0,61	0,66

7.2.4 Bifurcaciones (Tes)

7.2.4.1 Bifurcación separación

θ	90°		45°	
Q/Q_a	K_a	K_c	K_a	K_c
0,0	0,95	0,04	0,90	0,04
0,2	0,88	-0,08	0,68	-0,06
0,4	0,59	-0,05	0,50	-0,04
0,6	0,95	0,07	0,38	0,07
0,8	1,10	0,31	0,35	0,20
1,0	1,28	0,35	0,48	0,33



Ejemplo:

DN160 PN16 $Q(l/s)$: 12,6

DN110 PN16 $Q_a(l/s)$: 16

Q/Q_a : 0,8

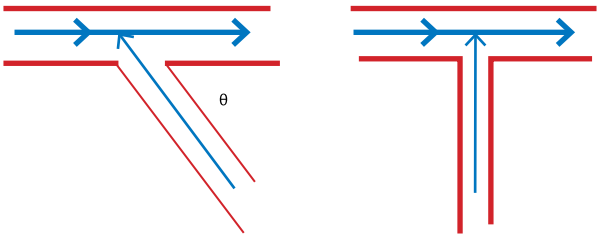
θ : 90°

K_a : 1,1

K_c : 0,31

7.2.4.2 Unión de conductos

θ	90°		45°	
Q/Q_a	K_a	K_c	K_a	K_c
0,0	-1,20	0,04	-0,92	0,04
0,2	-0,40	0,17	-0,38	0,17
0,4	0,08	0,30	0,00	0,19
0,6	0,47	0,40	0,22	0,09
0,8	0,72	0,51	0,37	-0,17
1,0	0,91	0,60	0,37	-0,54



Ejemplo:

DN160 PN16 $Q(l/s)$: 12,6
DN110 PN16 $Q_a(l/s)$: 16
 Q/Q_a : 0,8
 θ : 90°
 K_a : 0,72
 K_c : 0,51

7.2.4.3 Bifurcación simétrica

θ	10°	20°	30°	40°	50°
k_i	0,1	0,3	0,7	1	1,4

7.2.5 Válvulas

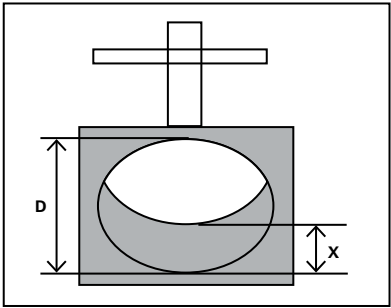
7.2.5.1 Válvula de compuerta

7.2.5.1.1 VÁLVULA DE COMPUERTA EN TUBERÍA CIRCULAR

x/D	0,181	0,194	0,208	0,25	0,333	0,375	0,417	0,458	0,5	0,583	0,667	1
k_i	41,21	35,36	31,35	22,68	11,89	8,63	6,33	4,57	3,27	1,55	0,77	0

Ejemplo:

Diámetro (mm) : 160
 x : 73
 x/D : 0,458
 k_i : 4,57



7.2.5.1.2 TAJADERAS DE SECCIÓN RECTANGULAR

S_o/S	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
k_i	193	44,5	17,8	8,12	4,02	2,08	0,95	0,39	0,09	0

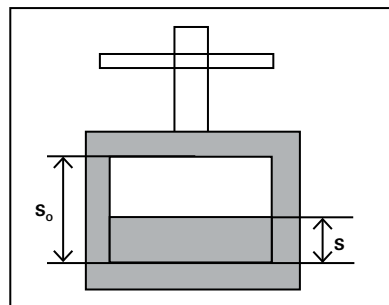
Ejemplo:

S_o (mm.): 100

S (mm.): 200

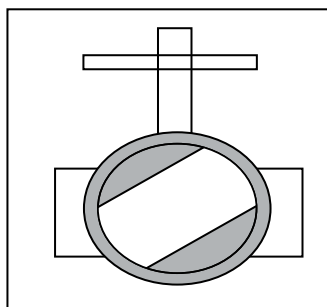
S/S_o 0,5

k_i : **4,02**



7.2.5.2 Válvulas esféricas

θ	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	82°
k_i	-	0,05	0,29	0,75	1,56	3,1	5,47	9,68	17,3	31,2	52,6	106	206	486	-



7.2.5.3 Válvulas de mariposa

7.2.5.3.1 VÁLVULAS DE MARIPOSA PARCIALMENTE ABIERTA

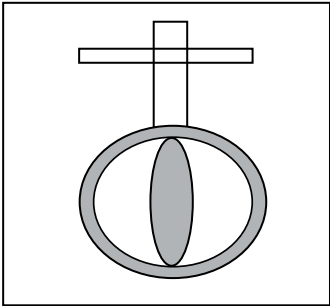
θ	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	90°
k_f	0	0,24	0,52	0,9	1,54	2,51	3,91	6,22	10,8	18,7	32,6	58,8	118	256	750	-

7.2.5.3.2 VÁLVULAS DE MARIPOSA COMPLETAMENTE ABIERTA

e/D	0,05	0,15	0,20	0,25
k_f	0,08	0,13	0,21	0,3

Ejemplo:

Espesor del disco de la válvula (mm): 24
Diámetro de la válvula (mm) : 160
 e/D : 0,15
 k_f : 0,13



7.3 Coeficientes de Prandtl-Colebrook-White, Hazen-Williams, y Manning.

Coef. Manning n para velocidad máxima.

Material	Prandtl - Colebrook		Hazen - Willians		Manning	
	k (mm)		c		n	
	Nueva	En servicio	Nueva	En servicio	Nueva	En servicio
Fundición	0,03	0,2	130	100	0,012	0,017
Hormigón	0,3	3,0	140	110	0,013	0,017
Acero	0,03	0,1	120	90	0,008	0,011
Polietileno	0,005	0,03	150	140	0,007	0,009
PRFV	0,03	0,06	110	100	0,009	0,010
PVC	0,002	0,003	150	140	0,007	0,009
PVC-O	0,003	0,007	150	140	0,007	0,009

7.4 Resistencia Química

Tabla de resistencia química de las tuberías de PVC-O extraída del informe UNE 53389 IN equivalente al Informe técnico Internacional ISO/TR 10358:1993.

RESISTENCIA QUÍMICA DE LAS TUBERÍAS DE PVC-O

Descripción	E: excelente NR: no recomendada		B: bueno I: información no comprobada		Descripción	R: regular	
	23°C	60°C	23°C	60°C		23°C	60°C
Aceite de Algodón	E	E	Ácido Esteárico	B	B		
Aceite de Castor	E	E	Ácido Fluorhídrico 10%	E	NR		
Aceite de Linaza	E	E	Ácido Fluorhídrico 50%	E	NR		
Aceite de Lubricantes	E	E	Ácido Formica	E	NR		
Aceites Minerales	E	B	Ácido fosfórico 25-85%	E	E		
Aceites y Grasas	E	B	Ácido Gálico	E	E		
Acetaldehído	NR	NR	Ácido Glicólico	E	E		
Acetato de Amilo	NR	NR	Ácido hipocloroso	E	E		
Acetato de Butilo	NR	NR	Ácido láctico 25%	E	E		
Acetato de Etilo	NR	NR	Ácido Láurico	E	E		
Acetato de Plomo	E	E	Ácido Linoleico	E	E		
Acetato de Sodio	E	E	Ácido Maleico	E	E		
Acetato de Vinilo	NR	NR	Ácido Málico	E	E		
Acetileno	I	I	Ácido Metilsulfónico	E	E		
Acetona	NR	NR	Ácido Nítrico 10%	E	NR		
Ácido Acético 80%	B	NR	Ácido Nítrico 68%	NR	NR		
Ácido Acético 20%	E	NR	Ácido Oleico	E	E		
Ácido adípico	E	E	Ácido Oxálico	E	E		
Ácido Antranquinonsulfónico	I	I	Ácido Palmítico 10%	E	E		
Ácido Arisulfónico	R	NR	Ácido Palmítico 70%	NR	NR		
Ácido Arsénico	E	B	Ácido Peracético 40%	NR	NR		
Ácido Bencensulfónico	E	E	Ácido Peracético 10%	E	E		
Ácido Benzoico	E	E	Ácido Peracético 70%	NR	NR		
Ácido Bórico	E	E	Ácido Picrico	NR	NR		
Ácido Bromhídrico 20%	E	E	Ácido Selénico	I	I		
Ácido Brómico	E	E	Ácido Silícico	E	E		
Ácido Butírico	R	NR	Ácido sulfuroso	E	E		
Ácido Carbónico	E	E	Ácido sulfúrico 10%	E	E		
Ácido cianhídrico	E	E	Ácido sulfúrico 75%	E	E		
Ácido Cítrico	E	E	Ácido sulfúrico 90%	NR	NR		
Ácido clorhídrico 20%	I	I	Ácido sulfúrico 98%	NR	NR		
Ácido clorhídrico 50%	E	E	Ácido Tánico	E	E		
Ácido clorhídrico 80%	E	E	Ácido Tartárico	E	E		
Ácido cloroacético 10%	B	R	Ácidos Grasos	E	E		
Ácido clorosulfónico	E	I	Acritalo de Etilo	NR	NR		
Ácido Crecílico 59%	B	NR	Agua de Bromo	R	NR		
Ácido Crómico 10%	E	E	Agua de Mar	E	E		
Ácido Crómico 30%	E	NR	Agua Potable	E	E		
Ácido Crómico 50%	B	NR	Agua Regia	R	NR		
Ácido diclocólico	E	E	Alcohol Alílico 96%	NR	NR		

RESISTENCIA QUÍMICA DE LAS TUBERÍAS DE PVC-O

E: excelente B: bueno R: regular NR: no recomendada I: información no comprobada					
Descripción	23°C	60°C	Descripción	23°C	60°C
Alcohol Amílico	R	NR	Cianuro de Sodio	E	E
Alcohol Butílico	B	NR	Cianuro de Mercurio	B	B
Alcohol Etilico	E	E	Ciclohexano	NR	NR
Alcohol Metílico	E	E	Ciclohexanol	NR	NR
Alcohol Propargílico	I	I	Clorato de Calcio	E	E
Alcohol Propílico	B	NR	Clorato de Sodio	I	I
Amoníaco	E	NR	Cloro (Acuoso) z	E	NR
Anhídrido Acético	NR	NR	Cloro (Humedo)	E	R
Anilina	NR	NR	Cloro (Seco)	E	NR
Antraquinona	E	I	Clorobenceno	NR	NR
Benceno	NR	NR	Cloroformo	NR	NR
Benzoato de Sodio	B	R	Cloruro de Alilo	NR	NR
Bicarbonato de Potasio	E	E	Claruro de Aluminio	E	E
Bicarbonato de Sodio	E	E	Cloruro de Amonio	E	E
Bicromato de Potasio	E	E	Cloruro de Amilo	NR	NR
Bifluoruro de Armonio	E	E	Cloruro de Bario	E	E
Bisulfato de Sodio	I	I	Cloruro de Calcio	E	E
Bisulfito de Calcio	E	E	Cloruro de Cobre	E	E
Bisulfito de Sodio	E	E	Cloruro de Etilo	NR	NR
Blanqueador (12,5% C12 Art.)	B	R	Cloruro de Fenilhidrazina	R	NR
Borato de Potasio	E	E	Cloruro de Magnesio	E	E
Borax	E	B	Cloruro de Metileno	NR	NR
Bromato de Potasio	E	E	Cloruro de Metilo	NR	NR
Bromo (liq.)	NR	NR	Cloruro de Niquel	E	E
Bromuro de Etileno	NR	NR	Cloruro de Potasio	E	E
Bromuro de Potasio	E	E	Cloruro de Sodio	E	E
Bromuro de Sodio	I	I	Cloruro de Tiolino	NR	NR
Butadieno	R	NR	Cloruro de Zinc	E	E
Butano	I	I	Cloruro de Estánico	E	E
Butanodiol	I	I	Cloruro Estanoso	E	E
Carbonato de Amonio	E	E	Cloruro Férrico	E	E
Carbonato de Bario	E	E	Cloruro Ferroso	E	E
Carbonato de Calcio	E	E	Cloruror Láurico	I	I
Carbonato de Magnesio	E	E	Cloruro Mercúrico	B	B
Carbonato de Potasio	B	B	Cresol	NR	NR
Carbonato de Sodio	E	E	Crotonaldehido	NR	NR
Celulosa	R	NR	Dextrosa	E	E
Cianuro de Cobre	E	E	Dicloruro de Etileno	NR	NR
Cianuro de Plata	E	E	Dicromato de Potasio	E	E
Cianuro de Potasio	E	E	Dicromato de Sodio	B	R

RESISTENCIA QUÍMICA DE LAS TUBERÍAS DE PVC-O

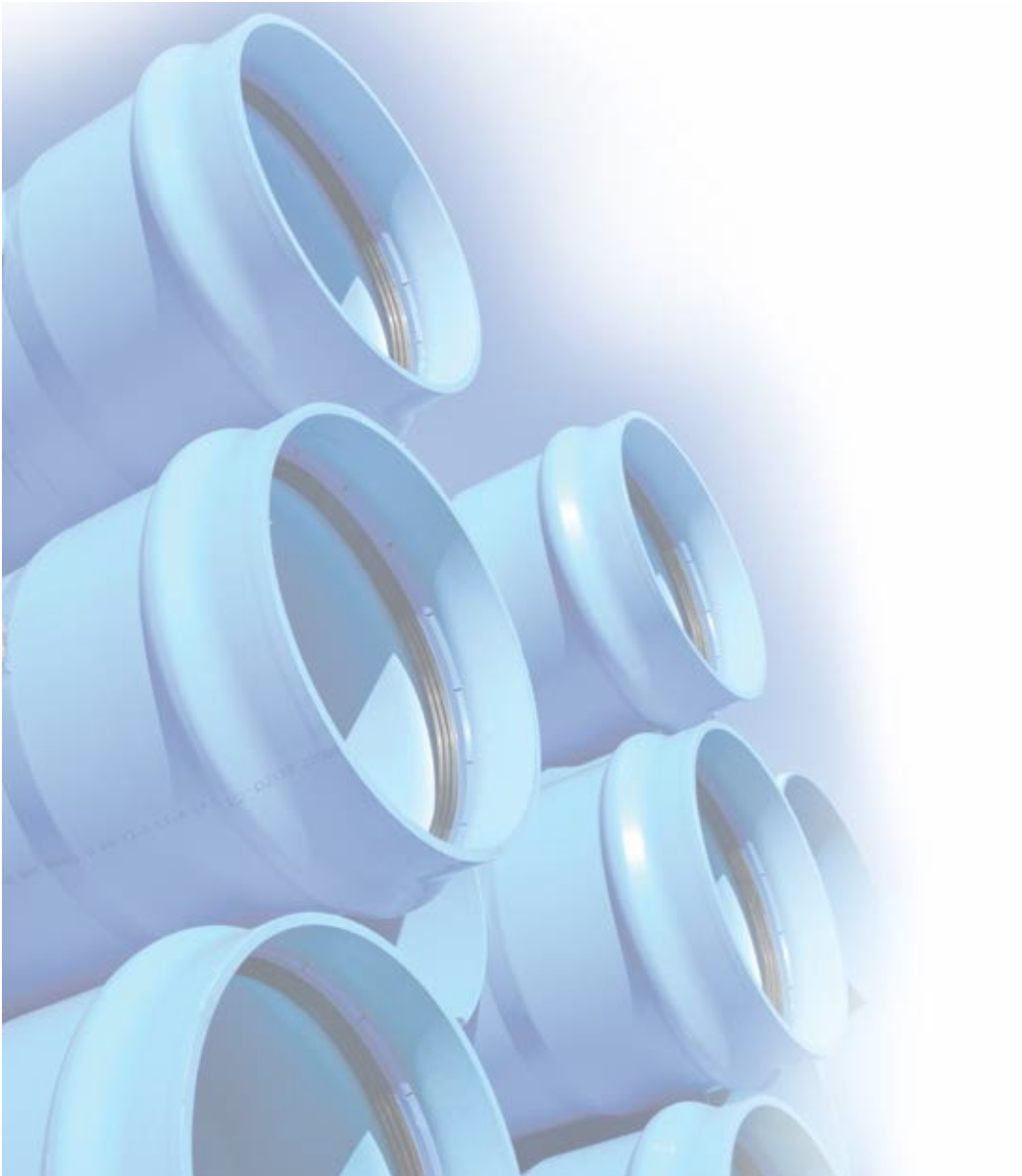
	E: excelente NR:no recomendada	B: bueno I:información no comprobada	R:regular		
Descripción	23°C	60°C	Descripción	23°C	60°C
Dióxido de Azufre (Húmedo)	NR	NR	Hidróxido de Bario 10%	E	E
Dióxido de Azufre (Seco)	E	E	Hidróxido de Calcio	E	E
Dióxido de Carbono	E	E	Hidróxido de Magnesio	E	E
Dimetil Amina	NR	NR	Hidróxido de Potasio	E	E
Disulfuro de Carbono	NR	NR	Hidróxido de Sodio	E	E
Éter Etilico	NR	NR	Hipoclorito de Calcio	E	E
Etilén Glicol	E	E	Hipoclorito de Sodio	E	E
Fenol	NR	NR	Kerosina	E	E
Ferricianuro de Potasio	E	E	Metil-Etil-Cetona	NR	NR
Ferricianuro de Sodio	E	I	Monóxido de Carbono	E	E
Ferrocianuro de Sodio	E	E	Meta Fosfato de Amonio	E	E
Ferrocianuro de Potasio	E	E	Leche	E	E
Fluor (Gas Húmedo)	E	E	Licor Blanco	E	E
Fluoruro de Aluminio	E	E	Licor Negro	E	E
Fluoruro de Amonio 25%	NR	NR	Licor Lanning	E	E
Fluoruro de Cobre	E	E	Melazas	E	E
Fluoruro de Potasio	E	E	Mercurio	B	B
Fluoruro de Sodio	I	I	Nafta	E	NR
Formaldehído	E	R	Nicotina	I	I
Fosfato Disódico	E	E	Nitrato de Aluminio	E	E
Fosfato Trisódico	E	E	Nitrato de Amonio	E	E
Fosgeno (Gas)	E	E	Nitrato de Calcio	E	E
Fosgeno (Líquido)	NR	NR	Nitrato de Cobre	E	E
Freon-12	I	I	Nitrato de Magnesio	E	E
Fructosa	E	E	Nitrato de Niquel	E	E
Frutas (jugos,pulpas)	E	E	Nitrato de Potasio	E	E
Furfural	NR	NR	Nitrato de Sodio	E	E
Gas Natural	E	E	Nitrato de Zinc	E	E
Gasolina	NR	NR	Nitrato Férrico	E	E
Gelatina	E	E	Nitrato Mercuroso	B	B
Glicerina o Glicerol	E	E	Nitrobenzeno	NR	NR
Glicol	E	E	Nitrito de Sodio	E	E
Glucosa	E	E	Ocenol	I	I
Heptano	I	I	Oleum	NR	NR
Hexano	NR	I	Oxicloruro de Aluminio	E	E
Hexanol (Terciario)	R	NR	Oxido Nitroso	E	E
Hidrógeno	E	E	Oxigeno	E	E
Hidroquinina	E	E	Pentóxido de Fósforo	I	I
Hidróxido de Aluminio	E	E	Perborato de Potasio	E	E
Hidróxido de Amonio	E	E	Perclorato de Potasio	E	E

RESISTENCIA QUÍMICA DE LAS TUBERÍAS DE PVC-O

E: excelente B: bueno R: regular NR: no recomendada I: información no comprobada					
Descripción	23°C	60°C	Descripción	23°C	60°C
Permanganato de Potasio 10	B	B	Sulfato de Sodio	E	E
Peróxido de Hidrógeno 30	E	I	Sulfuro de Bario	E	R
Persulfato de Amonio	E	E	Sulfuro de Hidrógeno	E	R
Persulfato de Potasio	E	E	Sulfuro de Sodio	E	R
Petróleo Crudo	E	E	Tetracloruro de Carbono	NR	NR
Potasa Cáustica	E	E	Tetracloruro de Titanio	B	NR
Propano	E	I	Tetra Etilo de Plomo	I	I
Soluciones Electrolíticas	E	E	Tiocianato de Amonio	E	E
Soluciones Fotográficas	E	E	Tiosulfato de Sodio	E	E
Sosa Cáustica	E	E	Tolueno	NR	NR
Sub-Carbonato de Bismuto	E	E	Tributilfosfato	NR	NR
Sulfato de Aluminio	E	E	Tricloruro de Fósforo	NR	NR
Sulfato de Amonio	E	E	Trietanol Amina	B	NR
Sulfato de Bario	E	E	Trietanol Propano	B	NR
Sulfato de Calcio	E	E	Trióxido de Azufre	B	E
Sulfato de Cobre	E	E	Urea	E	E
Sulfato de Hidroxilamina	E	E	Vinagre	E	NR
Sulfato de Magnesio	E	E	Vinos	E	E
Sulfato de Metilo	E	R	Whisky	E	E
Sulfato de Niquel	E	E	Xileno	NR	NR
Sulfato de Potasio	E	E			
Sulfato de Sodio	E	E			
Sulfato de Zinc	E	E			
Sulfato Férrico	E	E			
Sulfato Ferroso	E	E			

7.5 Coeficiente dilatación térmica

	Coef.	Long. Total	Dilat. por cada °C	20°C	40°C	60°C
	1/°C	mm	mm/°C	mm	mm	mm
PE	2,20E-04	6000	1,320	26,400	52,800	79,200
PRFV	3,00E-05	6000	0,180	3,600	7,200	10,800
PVC	8,00E-05	6000	0,480	9,600	19,200	28,800
PVC-O	8,00E-05	6000	0,480	9,600	19,200	28,800



CÁLCULO MECÁNICO (SEGÚN UNE-53331) - TUBERÍA TOM® DE PVC-O PARA AGUA A PRESIÓN (PN12,5)

DN	90	110	140	160	200	225	250	315	400	500	630
B1	0,71	0,75	0,80	0,83	0,89	0,94	0,98	1,08	1,22	1,39	1,60

CONDICIONES GENERALES

Tubo en ZANJA		
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)		Beta (β)
		72
	Talud	V
		3
		H
		1

PRESIONES		
Nivel freático (Ha)	0,0	m
Presión exterior (Pe)	0,0	bar
Presión de servicio (Pi)	10,0	bar

Apoyo Tipo A: cama continua de material granular		
2-alfa	60	º

Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso especif. Terreno	20	kN/m³

Tipo de terreno		
No cohesivo: Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino (diámetro < o = 0,06 mm) inferior al 5%.		

Compactaciones (proctor normal)	
E1	100%
E2,E3 y E4	95%

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN12,5 (Presión de servicio = 10 bar) - SIN TRÁFICO

H1	15,0 m										
	14,0 m										
	13,0 m										
	12,0 m										
	11,0 m										
	10,0 m										
	9,0 m										
	8,0 m										
	7,0 m										
	6,0 m										
	5,0 m										
	4,0 m										
	3,0 m										
	2,0 m										
	1,0 m										
		DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN12,5 (Presión de servicio = 10 bar) - CON TRÁFICO LIGERO
(2 ejes - 26 Tns) - Sin pavimento.

H1	15,0 m										
	14,0 m										
	13,0 m										
	12,0 m										
	11,0 m										
	10,0 m										
	9,0 m										
	8,0 m										
	7,0 m										
	6,0 m										
	5,0 m										
	4,0 m										
	3,0 m										
	2,0 m										
	1,0 m										
		DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN12,5 (Presión de servicio = 10 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns)

H1	15,0 m										
	14,0 m										
	13,0 m										
	12,0 m										
	11,0 m										
	10,0 m										
	9,0 m										
	8,0 m										
	7,0 m										
	6,0 m										
	5,0 m										
	4,0 m										
	3,0 m										
	2,0 m										
	1,0 m										
		DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN12,5 (Presión de servicio = 10 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns) - Pavimentación: 15 cm de aglomerado asfáltico ($E_f=15000 \text{ N/mm}^2$) + 20 cm. Zahorra ($E_f=20000 \text{ N/mm}^2$)

H1	15,0 m										
	14,0 m										
	13,0 m										
	12,0 m										
	11,0 m										
	10,0 m										
	9,0 m										
	8,0 m										
	7,0 m										
	6,0 m										
	5,0 m										
	4,0 m										
	3,0 m										
	2,0 m										
	1,0 m										
		DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

CONDICIONES GENERALES

Tubo en ZANJA			
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)		Beta (β)	72
		Talud	V 3
			H 1

PRESIONES		
Nivel freático (Ha)	0,0	m
Presión exterior (Pe)	0,0	bar
Presión de servicio (Pi)	8,0	bar

Apoyo Tipo A: cama continua de material granular		
2.alfa	60	º

Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso especif. Terreno	20	kN/m³

Tipo de terreno	
No cohesivo: Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino (diámetro < φ = 0,06 mm) inferior al 5%.	

Compactaciones (proctor normal)	
E1	100%
E2,E3 y E4	95%

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-0 500 A PRESIÓN PN12,5 (Presión de servicio = 8 bar) - SIN TRÁFICO

H1	15,0 m										
	14,0 m										
	13,0 m										
	12,0 m										
	11,0 m										
	10,0 m										
	9,0 m										
	8,0 m										
	7,0 m										
	6,0 m										
	5,0 m										
	4,0 m										
	3,0 m										
	2,0 m										
	1,0 m										
		DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-0 500 A PRESIÓN PN12,5 (Presión de servicio = 8 bar) - CON TRÁFICO LIGERO
(2 ejes - 26 Tns) - Sin pavimento.

H1	15,0 m										
	14,0 m										
	13,0 m										
	12,0 m										
	11,0 m										
	10,0 m										
	9,0 m										
	8,0 m										
	7,0 m										
	6,0 m										
	5,0 m										
	4,0 m										
	3,0 m										
	2,0 m										
	1,0 m										
		DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-0 500 A PRESIÓN PN12,5 (Presión de servicio = 8 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns)

H1	15,0 m										
	14,0 m										
	13,0 m										
	12,0 m										
	11,0 m										
	10,0 m										
	9,0 m										
	8,0 m										
	7,0 m										
	6,0 m										
	5,0 m										
	4,0 m										
	3,0 m										
	2,0 m										
	1,0 m										
		DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-0 500 A PRESIÓN PN12,5 (Presión de servicio = 8 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns) - Pavimentación: 15 cm de aglomerado asfáltico ($E_f=15000 \text{ N/mm}^2$) + 20 cm. Zahorra ($E_f=20000 \text{ N/mm}^2$)

H1	15,0 m										
	14,0 m										
	13,0 m										
	12,0 m										
	11,0 m										
	10,0 m										
	9,0 m										
	8,0 m										
	7,0 m										
	6,0 m										
	5,0 m										
	4,0 m										
	3,0 m										
	2,0 m										
	1,0 m										
		DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

CÁLCULO MECÁNICO (SEGÚN UNE-53331) - TUBERÍA TOM® DE PVC-O PARA AGUA A PRESIÓN (PN16)

DN	90	110	140	160	200	225	250	315	400	500	630
B1	0,71	0,75	0,80	0,83	0,89	0,94	0,98	1,08	1,22	1,39	1,60

CONDICIONES GENERALES

Tubo en ZANJA			
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)		Beta (β)	72
		Talud	V 3
		H	1

PRESIONES		
Nivel freático (Ha)	0,0	m
Presión exterior (Pe)	0,0	bar
Presión de servicio (Pi)	12,0	bar

Apoyo Tipo A: cama continua de material granular		
2-alfa	60	º

Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso especif. Terreno	20	kN/m³

Tipo de terreno		
No cohesivo: Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino (diámetro < o = 0,06 mm) inferior al 5%.		

Compactaciones (proctor normal)	
E1	100%
E2,E3 y E4	95%

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN16 (Presión de servicio = 12 bar) - SIN TRÁFICO

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-0 500 A PRESIÓN PN16 (Presión de servicio = 12 bar) - CON TRÁFICO LIGERO
(2 ejes - 26 Tns) - Sin pavimento.

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
1,0 m												
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-0 500 A PRESIÓN PN16 (Presión de servicio = 12 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns)

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
1,0 m												
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-0 500 A PRESIÓN PN16 (Presión de servicio = 12 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns) - Pavimentación: 15 cm de aglomerado asfáltico ($E_f=15000 \text{ N/mm}^2$) + 20 cm. Zahorra ($E_f=20000 \text{ N/mm}^2$)

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

CONDICIONES GENERALES			
Tubo en ZANJA			
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)	Beta (β)	72	
	Talud	V	3
		H	1
PRESIONES			
Nivel freático (Ha)	0,0	m	
Presión exterior (Pe)	0,0	bar	
Presión de servicio (Pi)	10,0	bar	
Apoyo Tipo A: cama continua de material granular			
2-alfa	60	°	
Relleno			
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso especif. Terreno	20	kN/m³	
Tipo de terreno			
No cohesivo: Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino (diámetro < ϕ = 0,06 mm) inferior al 5%.			
Compactaciones (proctor normal)			
E1	100%		
E2,E3 y E4	95%		

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN16 (Presión de servicio = 10 bar) - SIN TRÁFICO												
H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN16 (Presión de servicio = 10 bar) - CON TRÁFICO LIGERO
(2 ejes - 26 Tns) - Sin pavimento.

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
1,0 m												
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN16 (Presión de servicio = 10 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns)

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN16 (Presión de servicio = 10 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns) - Pavimentación: 15 cm de aglomerado asfáltico ($E_f=15000 \text{ N/mm}^2$) + 20 cm. Zahorra ($E_f=20000 \text{ N/mm}^2$)

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
1,0 m												
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

CÁLCULO MECÁNICO (SEGÚN UNE-53331) - TUBERÍA TOM® DE PVC-O PARA AGUA A PRESIÓN (PN20)

DN	90	110	140	160	200	225	250	315	400	500	630
B1	0,71	0,75	0,80	0,83	0,89	0,94	0,98	1,08	1,22	1,39	1,60

CONDICIONES GENERALES

Tubo en ZANJA			
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)		Beta (β)	72
		Talud	V 3
		H	1

PRESIONES		
Nivel freático (Ha)	0,0	m
Presión exterior (Pe)	0,0	bar
Presión de servicio (Pi)	17,0	bar

Apoyo Tipo A: cama continua de material granular		
2-alfa	60	º

Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso especif. Terreno	20	kN/m³

Tipo de terreno		
No cohesivo: Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino (diámetro < 0 = 0,06 mm) inferior al 5%.		

Compactaciones (proctor normal)	
E1	100%
E2,E3 y E4	95%

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN20 (Presión de servicio = 17 bar) - SIN TRÁFICO

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN20 (Presión de servicio = 17 bar) - CON TRÁFICO LIGERO
(2 ejes - 26 Tns) - Sin pavimento.

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN20 (Presión de servicio = 17 bar) -
CON TRÁFICO PESADO (3 ejes - 60 Tns)

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
1,0 m												
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN20 (Presión de servicio = 17 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns) - Pavimentación: 15 cm de aglomerado asfáltico ($E_f=15000 \text{ N/mm}^2$) + 20 cm. Zahorra ($E_f=20000 \text{ N/mm}^2$)

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
1,0 m												
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

CONDICIONES GENERALES			
Tubo en ZANJA			
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)	Beta (β)	72	
	Talud	V	3
		H	1
PRESIONES			
Nivel freático (Ha)	0,0	m	
Presión exterior (Pe)	0,0	bar	
Presión de servicio (Pi)	14,0	bar	
Apoyo Tipo A: cama continua de material granular			
2-alfa	60	°	
Relleno			
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso especif. Terreno	20	kN/m³	
Tipo de terreno			
No cohesivo: Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino (diámetro < ϕ = 0,06 mm) inferior al 5%.			
Compactaciones (proctor normal)			
E1	100%		
E2,E3 y E4	95%		

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN20 (Presión de servicio = 14 bar) - SIN TRÁFICO												
H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN20 (Presión de servicio = 14 bar) - CON TRÁFICO LIGERO
(2 ejes - 26 Tns) - Sin pavimento.

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN20 (Presión de servicio = 14 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns)

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN20 (Presión de servicio = 14 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns) - Pavimentación: 15 cm de aglomerado asfáltico ($E_f=15000 \text{ N/mm}^2$) + 20 cm. Zahorra ($E_f=20000 \text{ N/mm}^2$)

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

CÁLCULO MECÁNICO (SEGÚN UNE-53331) - TUBERÍA TOM® DE PVC-O PARA AGUA A PRESIÓN (PN25)

DN	90	110	140	160	200	225	250	315	400	500	630
B1	0,71	0,75	0,80	0,83	0,89	0,94	0,98	1,08	1,22	1,39	1,60

CONDICIONES GENERALES

Tubo en ZANJA		
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)	Beta (β)	72
	Talud	V
		H

PRESIONES		
Nivel freático (Ha)	0,0	m
Presión exterior (Pe)	0,0	bar
Presión de servicio (Pi)	19,0	bar

Apoyo Tipo A: cama continua de material granular		
2-alfa	60	º

Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso especif. Terreno	20	kN/m³

Tipo de terreno		
No cohesivo: Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino (diámetro < 0 = 0,06 mm) inferior al 5%.		

Compactaciones (proctor normal)	
E1	100%
E2,E3 y E4	95%

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN25 (Presión de servicio = 19 bar) - SIN TRÁFICO

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN25 (Presión de servicio = 19 bar) - CON TRÁFICO LIGERO
(2 ejes - 26 Tns) - Sin pavimento.

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN25 (Presión de servicio = 19 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns)

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN25 (Presión de servicio = 19 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns) - Pavimentación: 15 cm de aglomerado asfáltico ($E_f=15000 \text{ N/mm}^2$) + 20 cm. Zahorra ($E_f=20000 \text{ N/mm}^2$)

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

CONDICIONES GENERALES		
Tubo en ZANJA		
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)	Beta (β)	72
	Talud	V
		H
PRESIONES		
Nivel freático (Ha)	0,0	m
Presión exterior (Pe)	0,0	bar
Presión de servicio (Pi)	16,0	bar
Apoyo Tipo A: cama continua de material granular		
2-alfa	60	º
Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso especif. Terreno	20	kN/m³
Tipo de terreno		
No cohesivo: Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino (diámetro < $\phi = 0,06$ mm) inferior al 5%.		
Compactaciones (proctor normal)		
E1	100%	
E2,E3 y E4	95%	

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-O 500 A PRESIÓN PN25 (Presión de servicio = 16 bar) - SIN TRÁFICO												
H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-0 500 A PRESIÓN PN25 (Presión de servicio = 16 bar) - CON TRÁFICO LIGERO
(2 ejes - 26 Tns) - Sin pavimento.

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
1,0 m												
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-0 500 A PRESIÓN PN25 (Presión de servicio = 16 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns)

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
1,0 m												
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

ESTUDIO MÉCANICO TUBERÍA PVC-0 500 A PRESIÓN PN25 (Presión de servicio = 16 bar) - CON TRÁFICO PESADO
(3 ejes - 60 Tns) - Pavimentación: 15 cm de aglomerado asfáltico ($E_f=15000 \text{ N/mm}^2$) + 20 cm. Zorra ($E_f=20000 \text{ N/mm}^2$)

H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630



Normativas y referencias bibliográficas

9. Normativa y Referencias bibliográficas

Normativa y certificaciones

- **ACS** [Attestation de Conformité Sanitaire] - Certificado de conformidad sanitaria **Francia** –
- **ISO/TR 10358:1993** - Plastics pipes and fittings - Combined chemical-resistance classification table.
Tubos y accesorios plásticos - Tabla de clasificación de resistencia química combinada.
- **EN 1452-2:1999** - Plastics piping systems for water supply. Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U). Pipes.
Sistemas de tuberías plásticas para el abastecimiento de agua. Poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U).
Tuberías.
- **Hydrocheck** - Certificado de conformidad sanitaria Bélgica -
- **ISO 16422:2014** – Pipes and joints made of oriented unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-O) for the conveyance of water under pressure – Specifications.
Tubos y uniones de policloruro de vinilo orientado (PVC-O) para el transporte de agua a presión.
Especificaciones.
- **ISO 3127:1994** – Thermoplastics pipes – Determination of resistance to external blows – Round the clock method.
Tubos termoplásticos - Determinación de la resistencia a los golpes externos - Método Round-the-clock.
- **ISO 9001:2008** - IQNET The International certification network.
Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos.
- **ISO 14001:2004** - Environmental management systems.
Requirements with guidance for use.
- **NF T54-948:2010** - Systèmes de canalisations en plastique pour le transport de l'eau sous pression.
Tubes in poly (chlorure of vinyle) orienté biaxial (PVC-BO) et leurs assemblages. Spécifications.
Sistemas de canalizaciones plásticas para el transporte de agua a presión. Tuberías de poli(cloruro de vinilo) orientado biaxial (PVC-BO) y sus ensamblajes. Especificaciones.
- **REAL DECRETO 140/2003**, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- **UNE 53331:1997 IN** - Plásticos. Tuberías de poli(cloruro de vinilo) (PVC) no plastificado y polietileno (PE) de alta y media densidad. Criterio para la comprobación de los tubos a utilizar en conducciones con y sin presión sometidos a cargas externas.
- **UNE 53389:2001 IN** - Tubos y accesorios de materiales plásticos. Tabla de clasificación de la resistencia química.
- **UNE-EN 805:2000** - Abastecimiento de agua. Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes.
- **UNE-EN ISO 9001:2008** - Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos
- **UNE-ISO 14001:2004** - Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso.
- **UNE-ISO 16422:2008** - Tubos y uniones de poli(cloruro de vinilo) orientado (PVC-O) para conducción de agua a presión. Especificaciones.
- **WRAS** [Water Regulations Advisory Scheme]- Certificado de conformidad sanitaria Reino Unido -.

Referencias bibliográficas

- Estimación del consumo energético y de la emisión CO₂ asociados a la producción, uso y disposición final de tuberías de PVC, PEHD, PP, Fundición y Hormigón. - **Universisdad Politécnica de Cataluña**.
- Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión - **ICEX** Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.
- Manual técnico dde conducciones de PVC – **ASETUB** (Asociación Española de Fabricantes de Tubos y Accesorios Plásticos).