



MOLECOR

Smart water

Manual Técnico de Diseño de Redes y Utilización

Tubería de PVC Orientado TOM®





© Molecor Tecnología, S.L., 2021

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de este manual, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de Molecor Tecnología, S.L. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Los dibujos, ilustraciones, características técnicas, así como los datos incluidos en las tablas y figuras de este documento no son contractuales. Molecor Tecnología, S.L. se reserva el derecho de modificar las características de sus productos según las nuevas tecnologías de fabricación y la normativa vigente con vista a su mejora, sin previo aviso.





Índice

1. Tubería de PVC Orientado TOM®	1
1. Introducción	2
2. La Orientación Molecular	3
3. Tecnología de fabricación	4
4. Ventajas de la tubería de PVC-O TOM®	5
4.1. Características mecánicas	6
4.1.1. Resistencia al impacto	6
4.1.2. Flexibilidad	7
4.1.3. Presión interna	9
4.1.4. Buen comportamiento frente a depresión o vacío	10
4.2. Resistencia química	10
4.2.1. Inmune a la corrosión	10
4.2.2. Calidad del agua	11
4.3. Características hidráulicas	11
4.3.1. Excelente comportamiento frente al golpe de ariete	11
4.3.2. Mayor capacidad hidráulica	13
4.3.3. Estanqueidad en las conexiones	14
4.4. Facilidad de instalación	14
4.4.1. Ligereza, manejabilidad y facilidad de conexión	14
4.5. Eficiencia en recursos	16
4.5.1. Materias primas	16
4.5.2. Energía y emisiones de CO ₂	16
4.5.3. Gestión de residuos	16
5. Aplicaciones	17
5.1. Redes de abastecimiento y distribución de agua potable	17
5.2. Redes de reutilización	19
5.3. Redes de riego	19
5.4. Redes de saneamiento a presión	20
5.5. Otras aplicaciones	20
2. Diseño de la red	21
1. Cálculos hidráulicos	22
1.1. Necesidades hidráulicas	22
1.2. Selección de diámetros	23
1.2.1. Consideraciones iniciales y definiciones	23
1.2.2. Velocidades aconsejadas	24
1.2.3. Red de transporte para un único consumo	26
<i>Caso práctico nº 1</i>	31
<i>Caso práctico nº 2</i>	34





<i>Caso práctico nº 1</i>	41
1.2.4. Red de transporte de varios consumos.....	44
<i>Caso práctico</i>	46
<i>Caso práctico nº 1</i>	61
<i>Caso práctico nº 2</i>	65
1.3. Selección de la presión nominal.....	70
1.3.1. Definiciones.....	70
1.3.2. Perfil de la red.....	72
1.3.3. Efecto de aire en las redes.....	74
1.3.4. Pérdidas de carga en la tubería y accesorios.....	77
1.3.5. Golpe de ariete.....	78
<i>Caso práctico</i>	86
1.4. Influencia de la temperatura y otros coeficientes de diseño.....	88
1.4.1 Presiones de trabajo según la temperatura.....	88
1.4.2. Influencia de los distintos coeficientes de seguridad.....	89
2. Cálculos mecánicos.....	90
2.1. Clasificación de los distintos tipos de tuberías.....	90
2.2. Fuerzas de empuje.....	92
2.2.1. Anclajes de hormigón.....	92
<i>Caso práctico</i>	97
2.3. Instalaciones enterradas.....	104
2.3.1. Dimensionamiento de zanjas.....	104
2.3.2. Tensiones y esfuerzos.....	108
<i>Casos prácticos</i>	112
2.4. Instalaciones aéreas.....	125
3. Trazado y perfil de la red.....	128
3.1. Cambio de dirección y bifurcaciones.....	128
3.2. Desviaciones angulares y curvatura del tubo.....	129
<i>Caso práctico</i>	131
3. Recomendaciones de utilización.....	133
1. Transporte, almacenamiento y distribución.....	134
2. Instalación.....	135
3. Pruebas en obra y puesta en servicio.....	138
4. Gama y características de la tuberías de PVC Orientado TOM®.....	139
1. Gama de productos.....	140
2. Materias primas.....	142
3. Propiedades mecánicas.....	145
4. Propiedades químicas.....	145
5. Otras propiedades.....	149
6. Accesorios.....	149





7. Calidad y certificaciones	158
5. Aptitud de uso.....	164
1. Agua potable.....	165
2. Agua residual.....	167
3. Agua regenerada.....	167
4. Salmuera.....	167
6. Sostenibilidad.....	168
1. Ciclo de vida del PVC-O.....	169
2. Contribución al efecto invernadero	173
3. Más contribuciones a la sostenibilidad	175
7. Anexos.....	176
1. Tabla de pérdidas de carga continuas TOM® PVC-O 500 PN12,5.....	177
1. Tabla de pérdidas de carga continuas TOM® PVC-O 500 PN16	181
1. Tabla de pérdidas de carga continuas TOM® PVC-O 500 PN20.....	185
1. Tabla de pérdidas de carga continuas TOM® PVC-O 500 PN25.....	189
2. Coeficientes de pérdidas de carga localizada (k_f).....	192
2.1. Ensanchamientos y estrechamiento.....	192
2.2. Salida y entrada de depósitos	195
2.3. Codos.....	197
2.4. Bifurcaciones (Tes).....	198
2.5. Válvulas.....	199
3. Coeficientes de Prandtl-Colebrook-White, Hazen-Williams y Manning.....	201
4. Resistencia química	201
5. Coeficiente dilatación térmica.....	205
8. Anexos de cálculos mecánicos	206
Cálculo mecánico (según UNE 53331 - veáse Anexo " <i>Normativa y Referencias bibliográficas</i> ") - Tuberías TOM® de PVC-O para agua a presión (PN12,5).....	207
Cálculo mecánico (según UNE 53331 - veáse Anexo " <i>Normativa y Referencias bibliográficas</i> ") - Tuberías TOM® de PVC-O para agua a presión (PN16).....	213
Cálculo mecánico (según UNE 53331 - veáse Anexo " <i>Normativa y Referencias bibliográficas</i> ") - Tuberías TOM® de PVC-O para agua a presión (PN20).....	219
Cálculo mecánico (según UNE 53331 - veáse Anexo " <i>Normativa y Referencias bibliográficas</i> ") - Tuberías TOM® de PVC-O para agua a presión (PN25).....	225
9. Normativa y referencias bibliográficas.....	231
1. Normativa y certificaciones.....	232
2. Referencias bibliográficas.....	234





1

Tubería de PVC Orientado TOM[®]



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 contra-incendios, etc.) dentro de su rango de diámetros (90 a 1200 mm) y para presiones nominales desde 12,5 hasta 25 bares.



Tuberías de PVC-O TOM®

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, dando como resultado en las redes actualmente en operación, la ausencia de costes de mantenimiento 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 se han introducido, 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 y 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, India, Kazajistán y Canadá y sus productos se comercializan en muchos países de Europa, África, Latinoamérica, Asia y Oceanía.

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**.



Estructura laminar de las Tuberías de PVC-O TOM®

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.

3. Tecnología de fabricación

La tecnología desarrollada por **Molecor** supera las restricciones existentes hasta su desarrollo (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 de la embocadura integrada durante el mismo proceso de Orientación Molecular**, lo que garantiza las mismas propiedades en el sistema tubo-enchufe.



Sistema de fabricación de tuberías de PVC-O M-OR-P 3180



Moldes Orientación Molecular

4. Ventajas de la tubería de PVC-O TOM®

Ventajas del producto	
Características mecánicas: <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a impacto • Flexibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Presión interna • Buen comportamiento frente a depresión o vacío
Inerte químicamente: <ul style="list-style-type: none"> • Inmune a la corrosión • No favorece la biocorrosión 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantiza la calidad del agua • Resistente a desinfectantes
Características hidráulicas: <ul style="list-style-type: none"> • Golpe de ariete • Capacidad hidráulica 	<ul style="list-style-type: none"> • Estanqueidad en conexiones • Optimización energética
Facilidad de instalación: <ul style="list-style-type: none"> • Ligereza y manejabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de conexión y explotación
Eficiencia en recursos: <ul style="list-style-type: none"> • Materias primas • Energía y emisión de CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de residuos • 100% reciclable



4.1. Características mecánicas

4.1.1. Resistencia al impacto

La **tubería TOM®** es muy resistente a los golpes minimizándose 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 (véase Anexo “*Normativa y Referencias bibliográficas*”) y deben tener un porcentaje real de roturas (TIR) no superior al 10%.

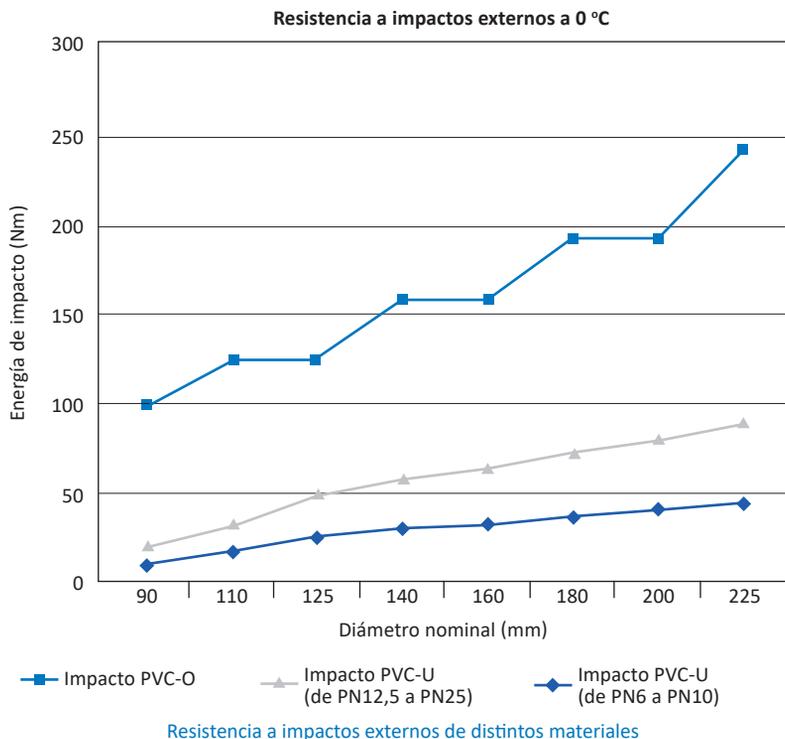


Resistencia a impacto de las tuberías de PVC-O TOM®

Si se representa la resistencia al impacto del PVC-U, norma EN 1452-2, y del PVC-O normas ISO 16422 y UNE-EN 17176 (véase Anexo “*Normativa y Referencias bibliográficas*”), puede observarse, que la resistencia al impacto del PVC-O para los distintos diámetros nominales está por encima de las de las tuberías en PVC-U.



Tuberías de PVC-O TOM®



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

4.1.2. Flexibilidad

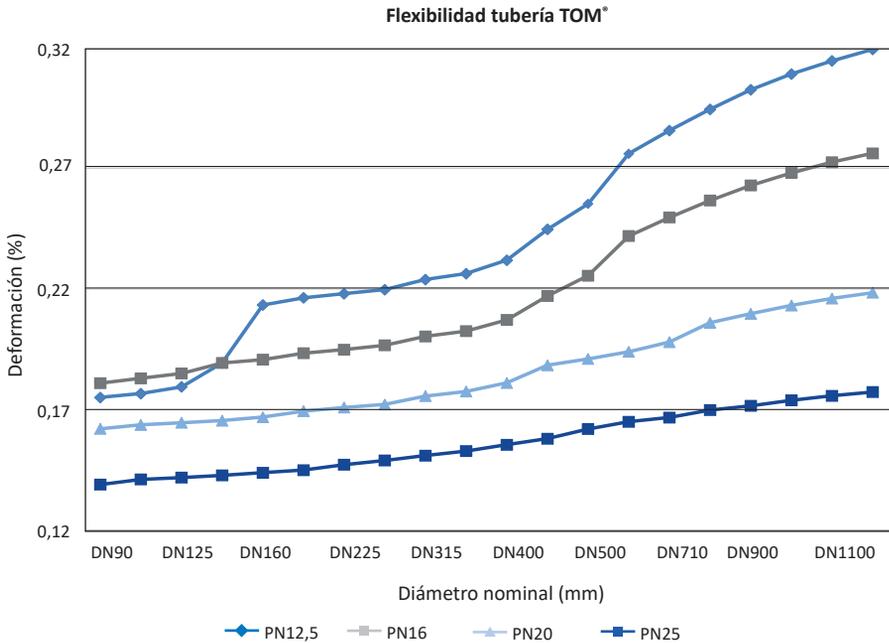
Como introducción se puede decir que la flexibilidad es la capacidad que tiene un material o estructura para deformarse y volver a su posición inicial un número de ciclos elevado, sin ver prácticamente alterada su estructura ni sus propiedades.

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.



Flexibilidad en las tuberías de PVC-O TOM®

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 (véase - Anexo “Normativa y Referencias bibliográficas”), la cual indica que el valor admisible a largo plazo debe ser inferior o igual al 5%.



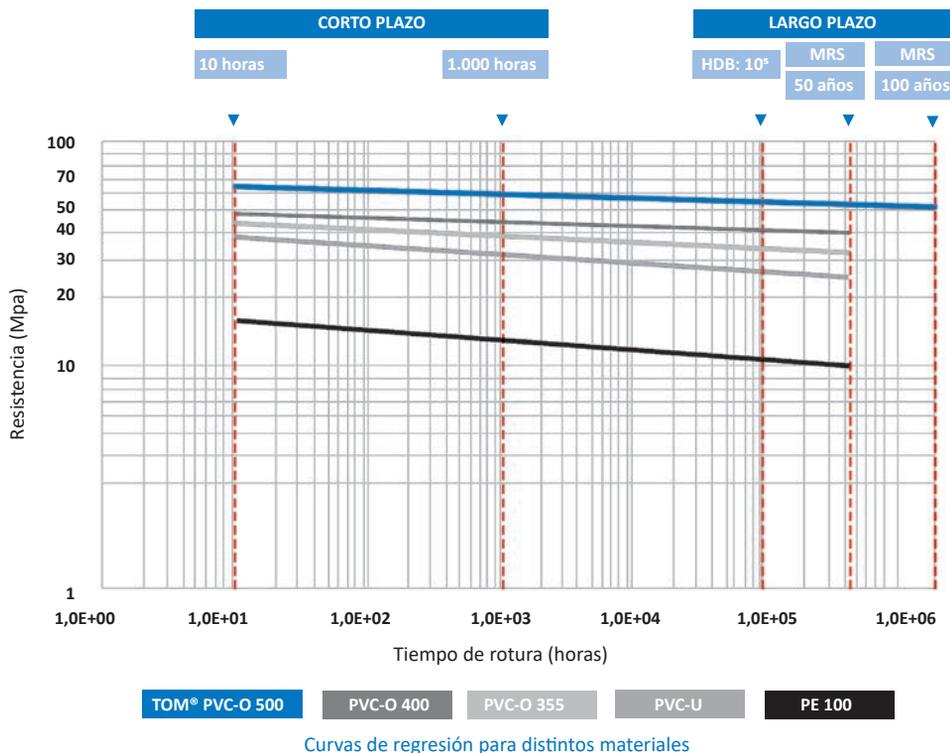
Flexibilidad de diferentes diámetros de tubería TOM®

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

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

Los materiales están sometidos a fatiga durante su vida útil. 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 un excelente comportamiento a la fatiga excepcional, y una resistencia química muy buena y común con el PVC convencional.

La **tubería TOM®** mantiene las características de un tubo de la clase 500 por encima de los **100 años**, como indican los ensayos a largo plazo (10.000 horas) efectuados por un laboratorio independiente acreditado según la norma **ISO 9080: 2013** y **UNE – EN 1167: 2006 Parte 1 y 2**. Eso quiere decir que el tubo puede resistir su presión nominal más allá de los **100 años**, siempre y cuando no haya alteraciones en el funcionamiento de la instalación. La **tubería TOM®** de **Molecor** tiene una vida útil de más de **100 años**.





4.1.4. Buen comportamiento frente a 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. De esta forma, en el caso de la **tubería TOM® Clase 500**, las normas ISO 16422 y UNE-EN 17176 (véase Anexo “*Normativa y Referencias bibliográficas*”), establecen la siguiente ecuación para el cálculo de la presión crítica de colapso:

$$P_{cr} = \frac{24 S_{measured}}{(1 - \nu^2)}$$

Siendo:

P_{cr} : la presión crítica de colapso sin soporte, en kilopascales (kPa)

ν : el coeficiente de Poisson, que puede tomarse con un valor de 0,40

$S_{measured}$: la rigidez de la tubería (kPa)

PN	Rigidez (kN/m ²)	P_{cr} (kPa)
12,5	5	143
16	7	200
20	11	314
25	20	571

Como la presión más baja (vacío absoluto) equivale a 101,325 kPa, todas las referencias TOM® soportan el vacío absoluto porque todos los valores de P_{cr} están por encima de 101,325 kPa.

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.

4.2. Resistencia química

4.2.1. Inmune a la corrosión

El **PVC Orientado** es inmune a la corrosión y a las sustancias químicas presentes en la naturaleza. 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 la 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 4 “*Resistencia Química*”), extraída del informe UNE 53389 IN equivalente al Informe técnico Internacional ISO/TR 10358:1993 (véase Anexo “*Normativa y Referencias bibliográficas*”).

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

4.2.2. Calidad del agua

Las **tuberías TOM®** son aptas para el transporte de agua potable pues cumplen con lo establecido en la legislación española (Real Decreto 140/2003 “*Criterios de calidad del agua de consumo humano*”) y están certificadas 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*]).

4.3. Características hidráulicas

4.3.1. 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 del **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 de 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 parada 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**:

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

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K_c \cdot \frac{D_m}{e}}}; \quad K_c = \frac{10^{10}}{E}$$

- 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.c.a.

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, en kg/m^2 , para la tubería de PVC Orientado TOM®: $4 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$

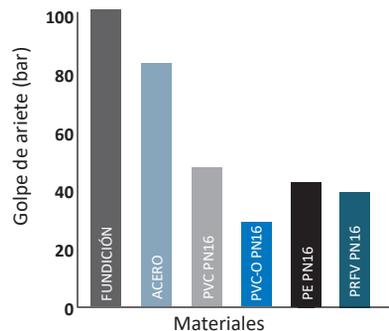
D_m : diámetro medio de la tubería, en mm

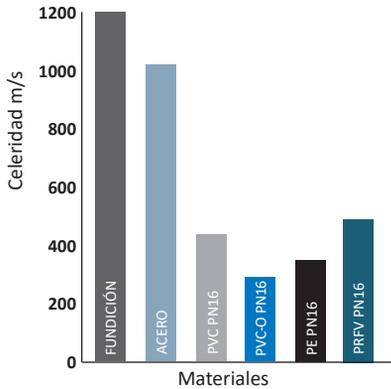
e: espesor de la tubería, en mm

K_c : coeficiente función del módulo de elasticidad (E) del material constitutivo de la tubería, en kg/m^2

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 mm:

Sobrepresión producida al cerrar bruscamente una conducción con agua para un caudal de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ y DN200 mm según fórmula de Allievi





La tubería de **PVC Orientado TOM®** tiene una **celeridad muy inferior** a la de las tuberías de otros materiales.

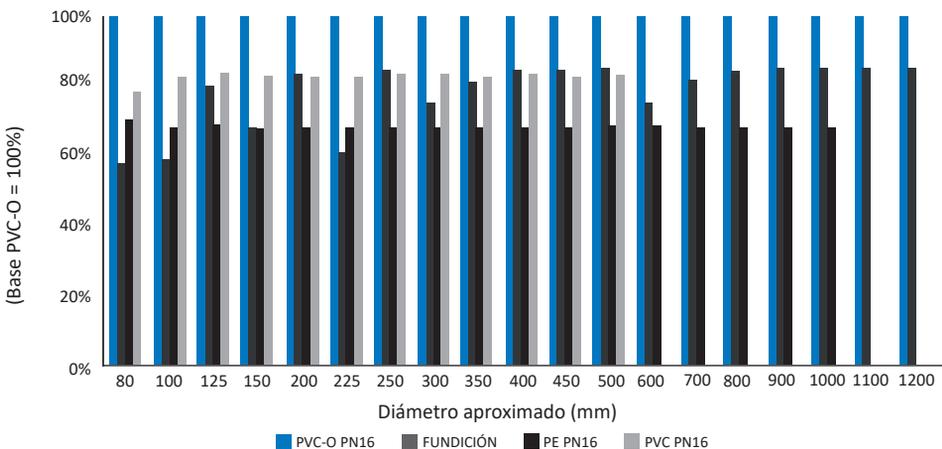
Es especialmente significativa la diferencia con las tuberías de materiales metálicos, donde los efectos del golpe de ariete pueden llegar a ser muy elevados.

Celeridad de tuberías de diferentes materiales

4.3.2. Mayor capacidad hidráulica

La reducción del espesor de pared que se produce en el proceso de **Orientación Molecular** proporciona a la **tubería TOM®** un **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.

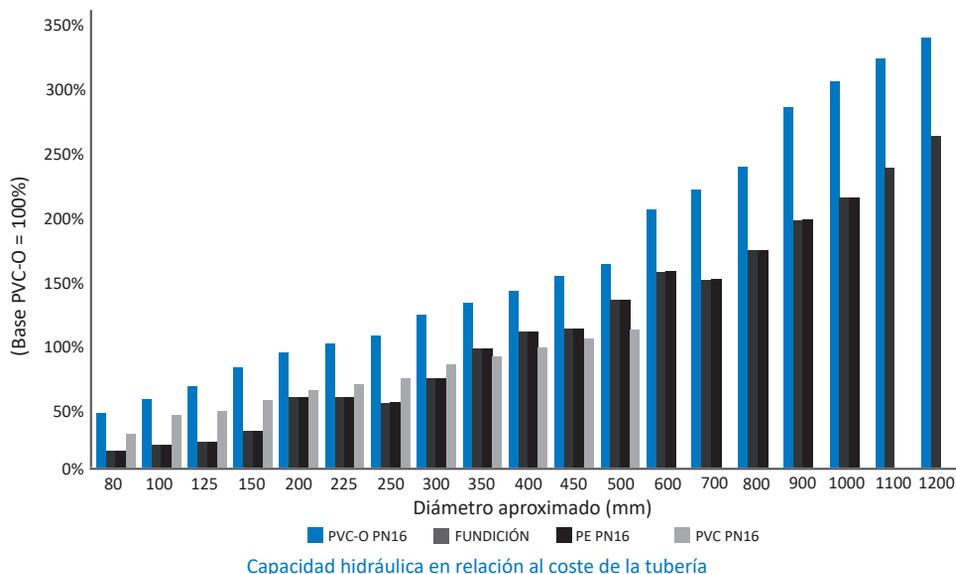
De esta forma se logra **entre un 15% y un 40% de mayor capacidad hidráulica** que la que tienen las tuberías de otros materiales con diámetros externos similares.



Capacidad hidráulica (pérdida de carga constante) para tuberías de diferentes materiales

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 las tuberías metálicas, **hacen de la tubería TOM® la de mayor capacidad hidráulica.**

El uso de tuberías con menor capacidad hidráulica conllevará utilizar 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.



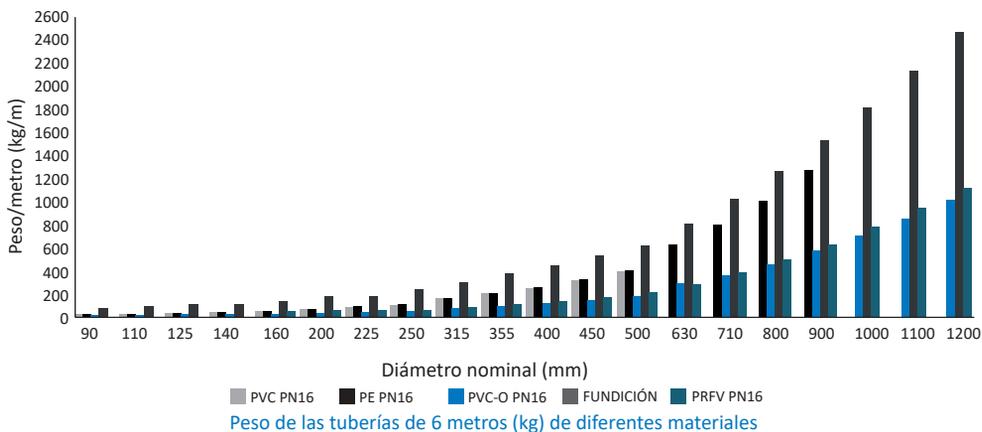
4.3.3. Estanqueidad en las conexiones

La **tubería TOM®** tiene la embocadura integrada con una junta de estanqueidad compuesta por un anillo de polipropileno 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.

4.4. Facilidad de instalación

4.4.1. 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 la junta elástica. **Dada la ligereza, manejabilidad y facilidad de conexión de la tubería TOM®, se puede disminuir la mano de obra, maquinaria y tiempo de ejecución.**



PVC-O PN16	
DN	Peso de tuberías de 5,95 metros (kg)
90	7
110	10
125	12
140	14
160	18
200	28
225	36
250	44
315	70
355	89
400	113
450	144
500	177
630	281
710	357

PVC-O PN16	
DN	Peso de tuberías de 5,95 metros (kg)
800	454
900	574
1000	709
1100	858
1200	1021

Aquí puedes encontrar más información sobre las ventajas de las tuberías de PVC-O TOM®

Tabla de pesos de las tuberías TOM®

4.5. Eficiencia en recursos

4.5.1. Materias primas

La resina de PVC sólo utiliza un 43% de etileno, lo que 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 mejores propiedades mecánicas**.

4.5.2. Energía y emisiones 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.

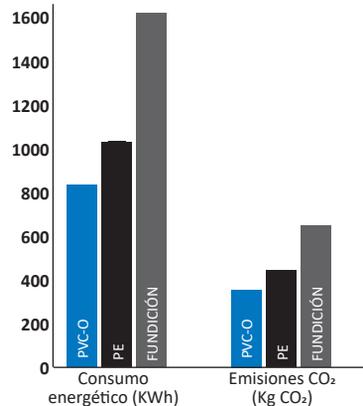


Ciclo de vida de un sistema de tuberías de PVC-O TOM®

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”*.

4.5.3. Gestión de residuos

La tubería TOM® es 100% reciclable.



Energía consumida y emisiones de CO₂ para tuberías de diferentes materiales

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, implican 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.

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 conectan 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 conectan 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 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 igual o inferior a 200 mm sobre las que se podrán instalar acometidas.



Abastecimiento de la Mancomunidad de Cardeñosa (Ávila)

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)

Descubre más sobre la red de riego con agua reutilizable instalada en Coslada aquí



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, incluye 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 en la localidad de Lanciego (Álava)

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)

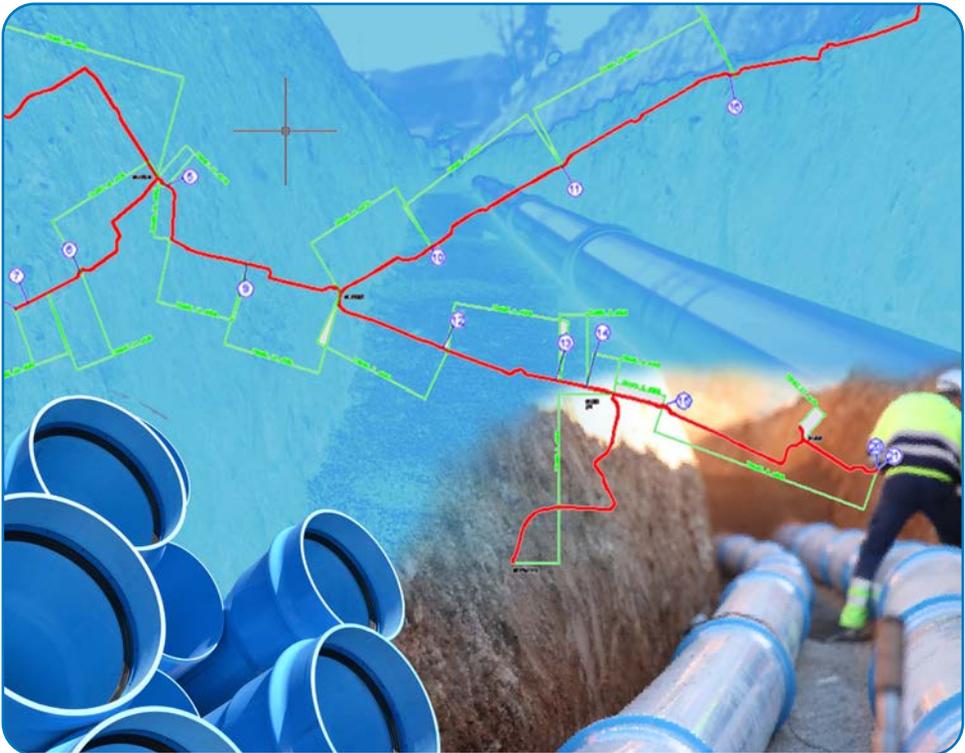
5.5. Otras aplicaciones

- Conducciones para infraestructuras.
- Saneamiento.
- Redes contraincendios.
- Aplicaciones industriales.



2

Diseño de la red





1. Cálculos hidráulicos

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_1). 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 aspersion 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 el **llenado de los depósitos** o cualquier otra aplicación de **transporte de agua**, serán los volúmenes a llenar o transportar y el tiempo destinado para ello los que determinen el caudal necesario.



Tuberías de PVC-O TOM®

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 por las diferencias de presión en la red.

Las diferencias de presión vienen determinadas por:

- Las diferencias de **altura manométrica** tanto en impulsiones/bombes 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.).

1.2. Selección de diámetros

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 (DI), ya que es el que condiciona la capacidad de transporte. Por tanto, 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 (DI)**. Diámetro interior medio de la tubería en una sección cualquiera.
- **Diámetro exterior (DE)**. 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, DI), como a los exteriores (diámetro exterior nominal, DE), ahora bien, cuando se hable simplemente de diámetro nominal, DN, se debe 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® de PVC-O**.

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 (DI), 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.

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

Donde:

v: velocidad de circulación del agua en m/s

DI: 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 una tubería en servicio)

En el Anexo 3 "*Coefficientes de Prandtl-Colebrook-White, Hazen-Williams, y Manning*" 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 de PVC-O TOM® Clase 500** PN16, Fundición K9 y PE100 PN16:

Fundición dúctil K9			
Diámetro Nominal (DN)	Diámetro Interior (DI)	Vel. max. (m/s)	Caudal max. l/s
100	95,9	0,60	4,33
125	121,6	0,60	6,97
150	147,3	0,60	10,22
200	198,9	0,60	18,64
250	249,9	0,63	30,81
300	300,9	0,68	48,32
350	349,7	0,73	69,65
400	399,7	0,77	96,52
450	449,5	0,81	128,65
500	500,5	0,85	167,44
600	601,3	0,93	262,87
700	700,0	0,99	382,30
800	800,0	1,06	531,58
900	900,0	1,12	711,25
1000	1000,0	1,18	923,15
1100	1100,0	1,23	1168,99
1200	1200,0	1,28	1450,42

PE 100 PN16			
Diámetro Nominal (DN)	Diámetro Interior (DI)	Vel. max. (m/s)	Caudal max. l/s
90	73,6	0,76	3,24
110	90,0	0,81	5,16
125	102,2	0,85	6,93
140	114,6	0,88	9,07
160	130,8	0,92	12,38
200	163,6	1,00	21,05
225	184,0	1,05	27,87
250	204,6	1,09	35,94
315	257,8	1,20	62,75
355	290,6	1,26	83,87
400	327,4	1,33	112,06
450	368,2	1,40	149,19
500	409,2	1,47	193,09
630	515,6	1,63	340,22

PVC-O Clase 500 PN16			
Diámetro Nominal (DN)	Diámetro Interior (DI)	Vel. max. (m/s)	Caudal max. l/s
90	84,3	0,79	4,43
110	103,1	0,85	7,08
125	117,8	0,89	9,67
140	132,3	0,93	12,72
160	151,2	0,97	17,45
200	189,0	1,06	29,72
225	212,6	1,11	39,41
250	236,3	1,16	50,84
315	297,7	1,28	88,93
355	335,5	1,35	118,93
400	378,0	1,42	159,07
450	425,3	1,49	212,21
500	472,5	1,57	274,62
630	595,4	1,74	484,63
710	671,0	1,84	650,57
800	756,1	1,95	873,44
900	850,6	2,06	1168,42
1000	945,1	2,16	1516,25
1100	1039,6	2,26	1919,77
1200	1134,1	2,36	2381,66

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.

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

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.

En estos casos es importante recordar que dado el campo de aplicación se deberá tener en cuenta para la elección del timbraje de la tubería las sobrepresiones originadas en los arranques y paradas de la instalación, así como comprobar que los equipos de seguridad diseñados sean los adecuados para evitar depresiones, y por último, el uso de ventosas compatibles para este tipo de aplicación, aguas residuales.

Para las aplicaciones de **saneamiento por gravedad**, debido a las limitaciones de diseño, las condiciones pueden variar, ya que son instalaciones que tan sólo esporádicamente pueden entrar en carga, por lo que la velocidad admitida de forma habitual será igual o inferior a 3 m/s, pero en descargas puntuales excepcionales podría superarse ese valor debiéndose limitar en esos casos a 5 m/s.

1.2.3. Red de transporte para un único consumo

• Consideraciones generales

En primer lugar hay que hacer un análisis de cómo 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 de 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 de 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 (coste 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.

• 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.

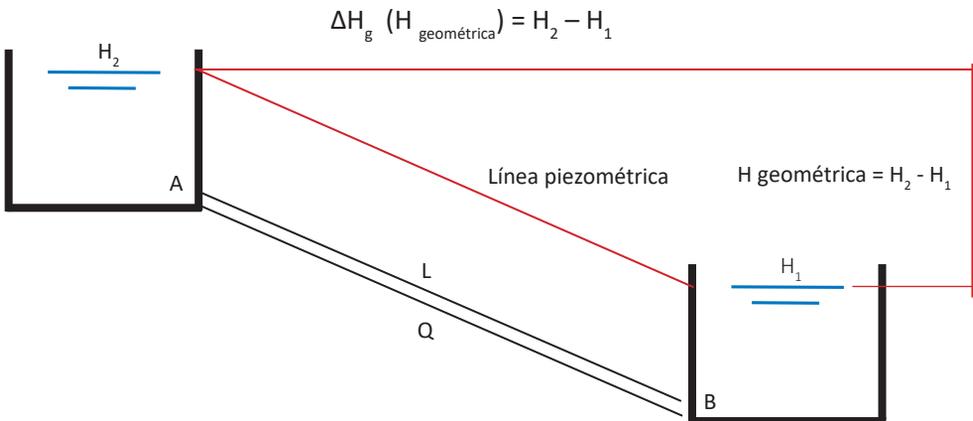
La fórmula que relaciona el caudal con la velocidad del fluido es la siguiente:

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

Q: caudal en función de las necesidades, en l/s

v: velocidad del agua en la conducción, en m/s

DI: diámetro interno de la conducción, en m





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

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

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

DI: 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:

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

2. Prandtl-Colebrook-White:

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

3. Manning:

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

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:

$$R_e = \frac{v \cdot DI}{\nu_c}$$

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)

DI: 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=0,0007 para conducción nueva y n = 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 m²/s (1,01x10⁻⁶, para el agua a 20 °C)

En el Anexo 3 "*Coefficientes de Prandtl-Colebrook-White, Hazen-Williams, y Manning*" 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 calcularse las **pérdidas de carga localizadas** (ΔH_l) de los accesorios, las cuales serán significativas si éstos 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 totales localizadas son:

$$\Delta H_{TL} = \sum_1^n \Delta H_i$$

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 2 "*Coefficientes de pérdidas de carga localizadas (k_i)*", se indican los coeficientes de pérdidas de carga localizadas k_i del término $V^2/2g$ para estas tres familias.

No obstante, se pueden hacer ciertas consideraciones para evaluar esta 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:

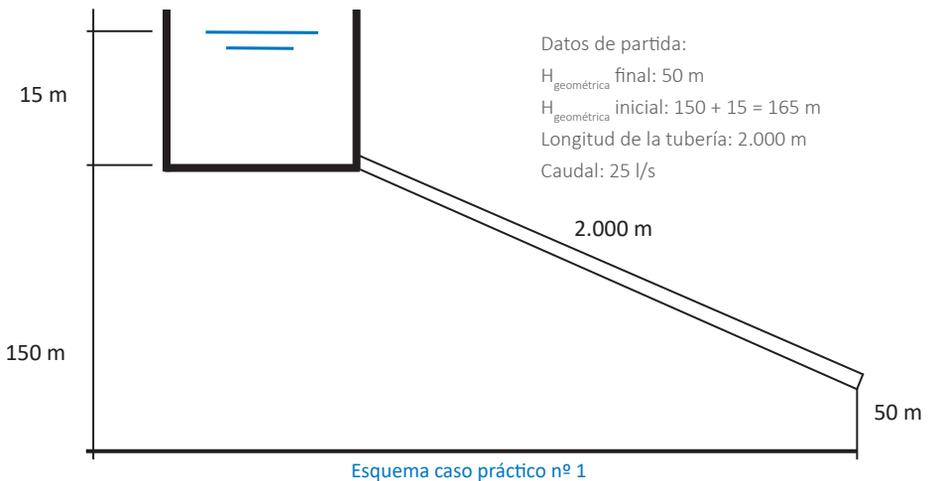
$$\Delta H_T = \Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$$



Tuberías de PVC-O TOM®

Caso práctico nº 1

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 cota 50 m, mediante un tubería de 2.000 m de longitud. Considerando un nivel de agua en el depósito constante de 15 m ¿cuál sería la tubería necesaria (DN y PN)?



Cálculo de la pérdida de carga total:

- Cálculo de la diferencia de altura 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 (ver pág.28):

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® de 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 máxima recomendada	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	13,3	12,0
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	13,6	12,1

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
Presión de servicio		bar	13,4
Tubería en servicio			
ΔH_T	$\Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	136,4
Presión de servicio		bar	13,4

Conclusión:

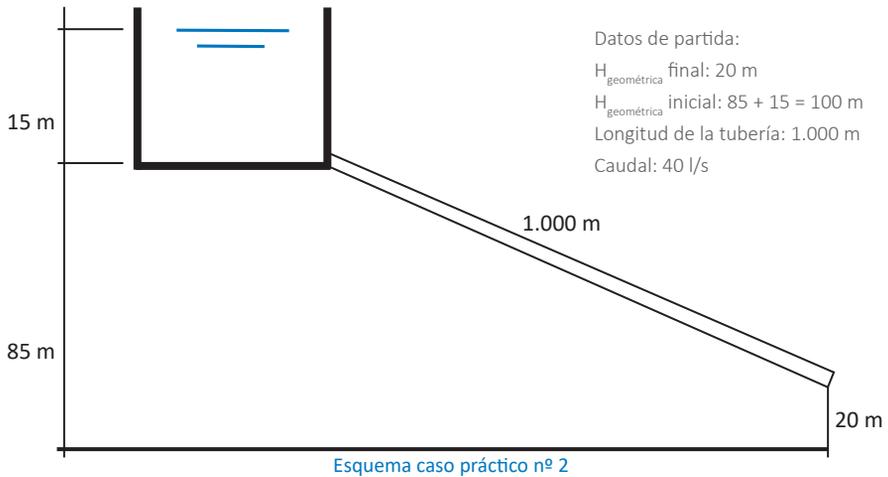
La tubería seleccionada sería DN200 mm dado que se obtiene una velocidad inferior al valor máximo recomendado. Igualmente, la presión de servicio obtenida indica que el timbrado adecuado de la tubería es PN16.



Instalación de tuberías de PVC-O TOM®

Caso práctico nº 2

Dado un depósito situado a cota 85 m desde el que se desea enviar un caudal de 40 l/s a un punto de la conducción situado a cota 20 m mediante una 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.



Se consideran para el cálculo los siguientes accesorios: codos de 20°, 40° y 90°, Entrada-Salida, Válvula de mariposa (20°) y Válvula esférica (10°).

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_c						



Instalación de tuberías de PVC-O TOM®

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

Tubería			PE100 PN16			
			DN200	DN225	DN250	DN315
Pérdida de carga (S/Hazen-Williams)						
C	C. Hazen-Williams (t. nueva)	-	150	150	150	150
C	C. Hazen-Williams (t. servicio)	-	140	140	140	140
J	Pérdida carga (t. nueva)	m/km	17,28	9,75	5,81	1,89
ΔH_c	Pérdida carga (t. nueva)	m.c.a.	17,28	9,75	5,81	1,89
J	Pérdida carga (t. servicio)	m/km	19,63	11,08	6,61	2,14
ΔH_c	Pérdida carga (t. servicio)	m.c.a.	19,63	11,08	6,61	2,14

Tubería			PE100 PN16			
			DN200	DN225	DN250	DN315
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	m ² /s	1,31E ⁻⁰⁶	1,31E ⁻⁰⁶	1,31E ⁻⁰⁶	1,31E ⁻⁰⁶

Tubería			PE100 PN16			
			DN200	DN225	DN250	DN315
J	Pérdida carga (t. nueva)	m/km	17,37	9,84	5,90	1,94
ΔH_c	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_c	Pérdida carga (t. servicio)	m.c.a.	18,72	10,48	6,22	2,01
Q	Caudal (t. nueva)	m ³ /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)	m ³ /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}						

Fundición K9				PVC-O PN16			
DN200	DN250	DN300	DN350	DN200	DN225	DN250	DN315
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

Fundición K9				PVC-O PN16			
DN200	DN250	DN300	DN350	DN200	DN225	DN250	DN315
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

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}							

Tubería			PE100 PN16			
			DN200	DN225	DN250	DN315
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 20°	0,38	2	0,140	0,088	0,057	0,023
Codos de 40°	0,62	2	0,229	0,143	0,094	0,037
Codos de 90°	1	1	0,185	0,115	0,076	0,030
Válvula de mariposa (20°)	1,54	1	0,284	0,178	0,116	0,046
Válvula esférica (10°)	0,29	1	0,054	0,033	0,022	0,009
TOTAL			0,985	0,615	0,403	0,160

Tubería			PE100 PN16			
			DN200	DN225	DN250	DN315
Pérdida de carga total (S/ Hazen-Williams)						
Tubería nueva						
ΔH_T	$\Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	98,3	90,4	86,2	82,0
Presión de servicio		bar	9,6	8,9	8,5	8,0
Tubería en servicio						
ΔH_T	$\Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	100,6	91,7	87,0	82,3
Presión de servicio		bar	9,9	9,0	8,5	8,1

Tubería			PE100 PN16			
			DN200	DN225	DN250	DN315
Pérdida de carga total (S/ Prandtl-Colebrook)						
Tubería nueva						
ΔH_T	$\Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	98,4	90,5	86,3	82,1
Presión de servicio		bar	9,6	8,9	8,5	8,1
Tubería en servicio						
ΔH_T	$\Delta H_g + \Delta H_c + \Delta H_{TL}$	m.c.a.	99,7	91,1	86,6	82,2
Presión de servicio		bar	9,8	8,9	8,5	8,1

Fundición k9				PVC-O PN16			
DN200	DN250	DN300	DN350	DN200	DN225	DN250	DN315
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

Fundición k9				PVC-O PN16			
DN200	DN250	DN300	DN350	DN200	DN225	DN250	DN315
Pérdida de carga total (S/ Hazen-Williams)							
89,1	83,0	81,2	80,6	89,1	85,1	83,1	81,0
8,7	8,1	8,0	7,9	8,7	8,3	8,1	7,9
94,6	84,8	82,0	81,0	90,2	85,8	83,5	81,1
9,3	8,3	8,0	7,9	8,8	8,4	8,2	8,0

Fundición k9				PVC-O PN16			
DN200	DN250	DN300	DN350	DN200	DN225	DN250	DN315
Pérdida de carga total (S/ Prandtl-Colebrook)							
87,6	82,5	81,0	80,5	89,1	85,2	83,2	81,1
8,6	8,1	7,9	7,9	8,7	8,4	8,2	8,0
89,4	83,0	81,2	80,6	89,2	85,2	83,2	81,1
8,8	8,1	8,0	7,9	8,7	8,4	8,2	8,0



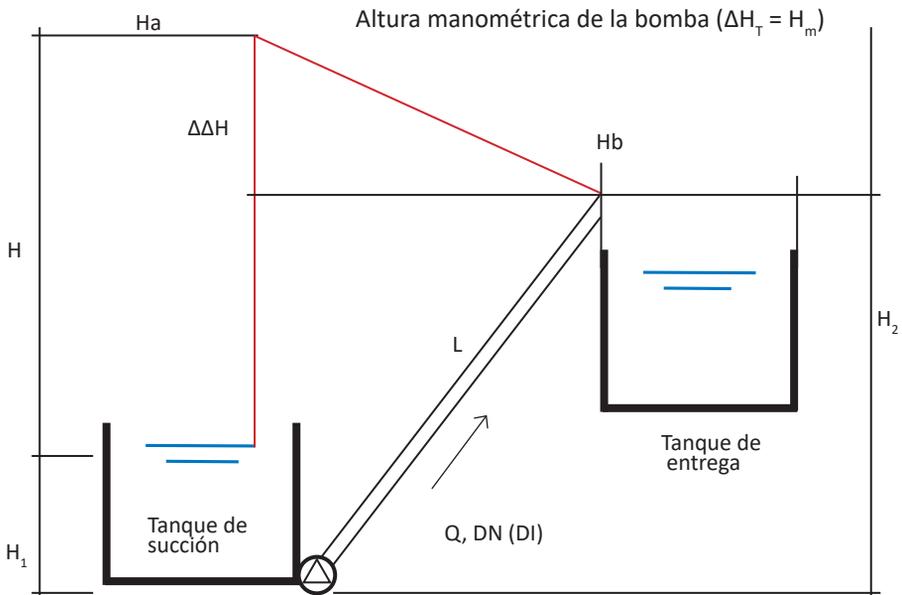
• **Conducción por bombeo**

La conducción por bombeo es necesaria cuando se requiere añadir 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 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 interno de la tubería (DI), 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 "Conducción por gravedad" (página 27) 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:

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



Esquema de conducción por bombeo

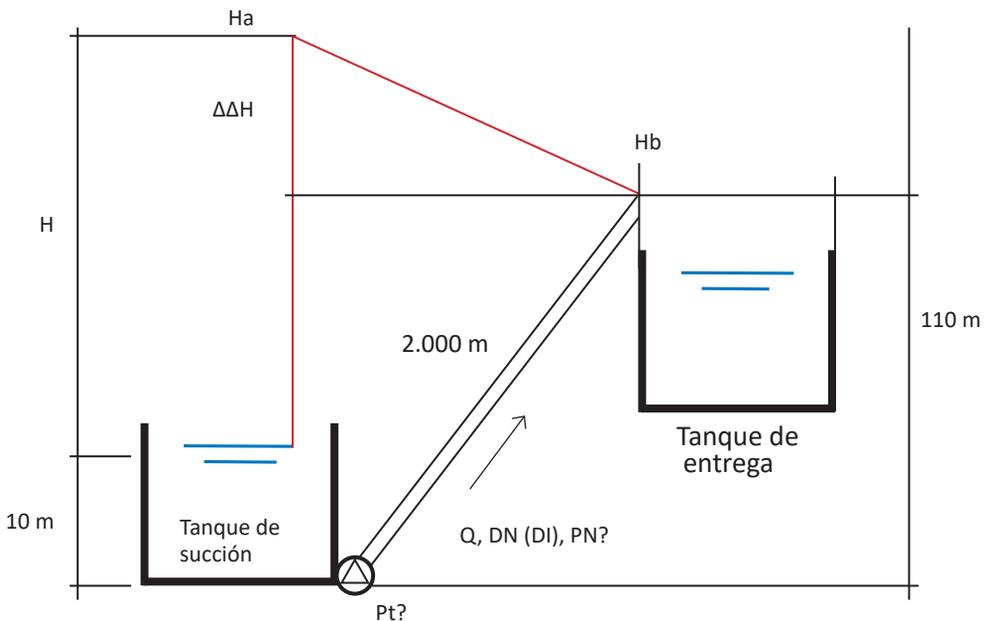
Caso práctico nº 1

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, se determina 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 $\eta = 75\%$.

Considerar las pérdidas de cargas localizadas de los siguientes elementos:

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

Datos de partida		
Longitud	m	2.000
Cota inferior	m	90
Cota superior	m	200
Caudal	m ³ /s	0,03
Caudal	m ³ /h	108,0
Caudal	l/s	30,0
Rendimiento motor-bomba	%	75



Esquema caso práctico

Tubería			FD DN200 k9	PVC-O 200 PN16	PVC-O 225 PN16
DI	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 recomendada	m/s	0,6	1,0	1,1
ΔH_g			m.c.a.	110	110
ΔH_c					

Pérdida de carga (Hazen-Williams)			FD DN200 k9	PVC-O 200 PN16	PVC-O 225 PN16
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)			FD DN200 k9	PVC-O 200 PN16	PVC-O 225 PN16
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_f	Cantidad	FD DN200	PVC-O 200	PVC-O 225
			k9	PN16	PN16
			Pérdida de carga localizada (m.c.a.)		
Entrada-Salida	0,500	1	0,024	0,029	0,018
Codos de 20°	0,380	5	0,090	0,110	0,069
Codos de 40°	0,620	4	0,118	0,144	0,090
Codos de 90°	1,000	8	0,381	0,465	0,290
Válvula de mariposa (20°)	1,540	2	0,146	0,179	0,112
Válvula esférica (10°)	0,290	1	0,014	0,017	0,011
Total		m.c.a.	0,773	0,944	0,590

Tubería			FD DN200	PVC-O 200	PVC-O 225
			k9	PN16	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	116,99
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



Con este caso práctico podemos observar cómo las **tuberías de PVC-O** ofrecen condiciones superiores en cuanto a pérdida de carga y potencia de bombeo si las comparamos con las tuberías de fundición para unos diámetros similares.

1.2.4. Red de transporte de varios consumos

• Criterios de dimensionamiento y clasificación

Una vez definidos los distintos componentes que forman parte de una red de distribución (ver apartado 5. "Aplicaciones" - página 17), se indican los criterios para un buen dimensionamiento de la misma:

- **Velocidad apropiada**, ya mencionada en el apartado 1.2.2 "Velocidades aconsejadas" (página 24).
- **Presión dentro de los rangos necesarios** y que se verá en el apartado 1.3 "Selección de la presión nominal" (página 70). Se deben conocer: cota del depósito con respecto a la captación del agua, altura de lámina de agua, pérdidas de carga de la tubería y los accesorios, cota de lámina de agua en captación, y presión deseada en el punto de suministro.
- **Que satisfaga la demanda**. El caudal de diseño de la red de distribución corresponde al consumo máximo horario (definiéndose el coeficiente o factor punta como la relación entre el consumo máximo horario, dentro del día de consumo máximo, y el consumo horario medio, dentro del día de consumo 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 límite**: 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, etc.; 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 a aquellos elementos que comunican energía al fluido (elementos activos) como son las bombas elevadoras.

• Red ramificada

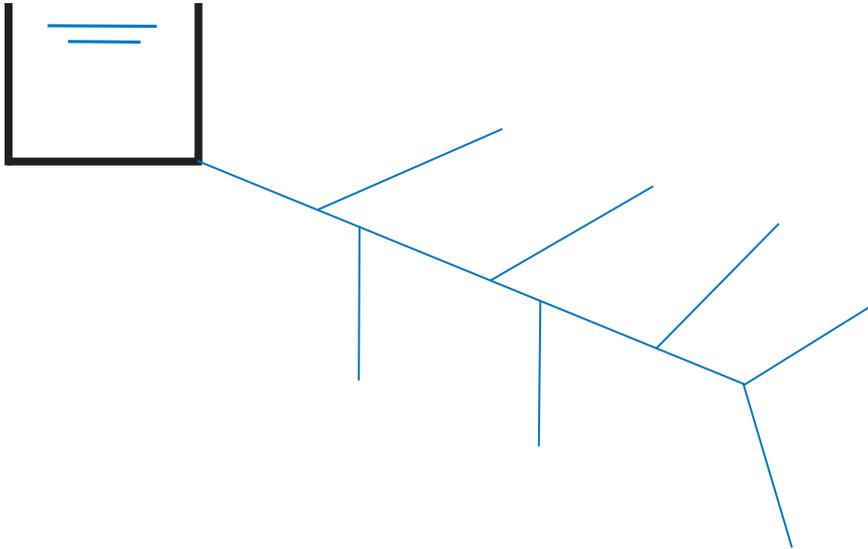
En las redes ramificadas **el agua circula por la red en un único sentido**. Este tipo de red recuerda a las ramas de un árbol, por lo que a veces se denomina red arbolada. El sistema ramificado consiste en una tubería principal de la que derivan otras tuberías, cada vez menores. En función del diámetro 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 éstas 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 1.000 habitantes y configuración urbana lineal. Se recomienda también que la arteria principal tenga una longitud máxima de 1.000 m con ramales no superiores a 300 m. A pesar de esto, la realidad impone dimensionamientos mayores, con lo que se deberían instalar accesorios especiales en los extremos, que permitan la limpieza de las conducciones.



Tuberías de PVC-O TOM®



Esquema de red ramificada

Caso práctico

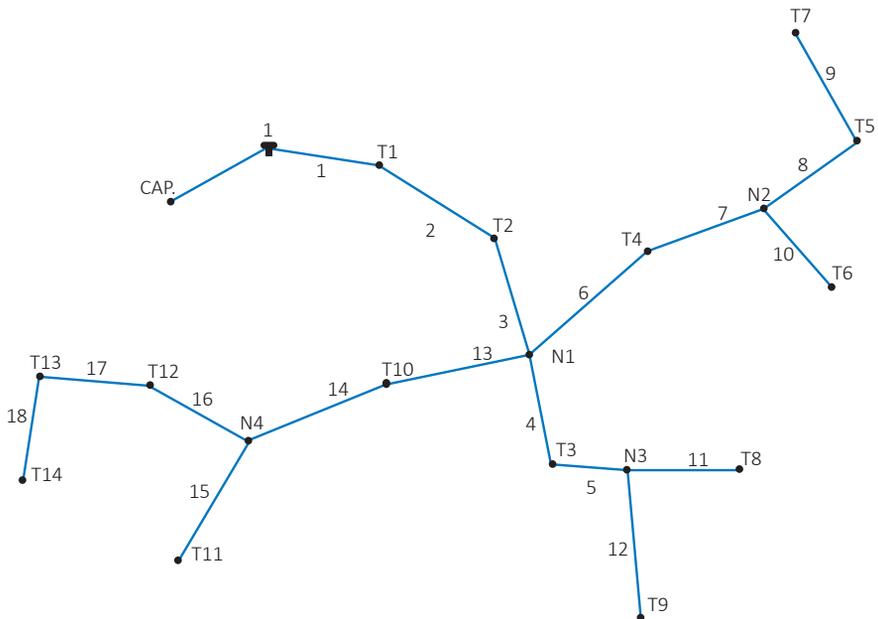
Red de riego por gravedad abastecida por un depósito regulador con 5 m de lámina de agua máxima y que está previsto a cota 650 m. La captación a dicho depósito se encuentra a cota 550 m y consiste en un pozo con una profundidad de nivel de agua de 15 m. La distancia entre el depósito regulador y la captación es de 100 m.

La carta de riego se detalla a continuación:

- Cuatro 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
- Catorce puntos de consumo

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

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
T1	12			
T2	17			
T3	12	12		
T4	7			
T5		7	7	7
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



Red ramificada



• Dimensiones del depósito regulador

El depósito será proyectado según el tiempo total de riego. Teniendo esto en cuenta la capacidad del depósito será:

- $Q = 81 \text{ l/s}$
- Tiempo total de riego: 8 horas
- Capacidad del depósito = $81 \times 3.600 \times 8 = 2.332.800 \text{ litros} \Leftrightarrow 2.332 \text{ m}^3$
- Como la capacidad del depósito es de 2.332 m^3 , la capacidad del depósito proyectado debería ser algo superior a este volumen. Podría ser: $25 \times 20 \times 5 = 2.500 \text{ m}^3$

• 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/cm^2 .

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 Mougnyie-Manning, que relaciona la velocidad v (m/s) con el diámetro interior DI (m) y con el coeficiente de rugosidad de Manning (n):

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



Acopio de tuberías de PVC-O TOM®

PVC-O PN16					
Diámetro nominal (DN)	Diámetro interior (DI)	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 PN16 bar, siendo necesaria una velocidad de circulación de 1,161 m/s para transportar el caudal.

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 "Conducción por gravedad" (página 27).

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 mm.

Impulsión			
Q	Caudal destinado al riego	m ³ /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	Coefficiente 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
ΔH	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	m ² /s	1,31E ⁰⁶
J	Pérdida de carga	m/km	3,47
ΔH	Pérdida de carga	m.c.a.	0,35
Q	Caudal	m ³ /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 Ø315	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			

La potencia necesaria para la impulsión es:

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

Donde:

$\gamma = 1 \text{ kg/dm}^3$ (densidad del líquido)

$H_b =$ altura de bombeo = 116,2 m.c.a.

$\eta =$ 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:

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

• **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:

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

• Determinación del timbraje necesario

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

Así pues la **tubería TOM®** a emplear será de PN16 bar.

• 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.

					S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Tramo	Punto inicial	Punto final	DN	DI (mm)	l/s				m/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.

• **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 "Conducción por gravedad" - página 27).



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

Kc	Nº de accidentes						
	Entrada Salida	Codos 11,25°	Codos 22,5°	Codos 45°	Codos 90°	Te	Válvula de compuerta abierta 1/2"
	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

Descubre el programa de cálculo mecánico con el que podrás crear tus propios cálculos. Accede a www.tomcalculation.com



Los valores de pérdidas de carga son:

Tramo	Entrda Salida	Pérdidas carga parciales accidentes (m.c.a.)						Total	Pér. carga acumulada accidentes (m.c.a.)
		Codos 11,25°	Codos 22,5°	Codos 45°	Codos 90°	Te	Válvula de compuerta abierta 1/2"		
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



Tuberías de PVC-O TOM®



Por tanto, las presiones son las siguientes:

Tramo	Punto inicial	Punto final	DN	DI (mm)	Caudal	Velocidad	ΔH_g	Long.
					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



Tuberías de PVC-O TOM®

Pérdida de carga unitaria	Pérdida de carga parcial tramo	Pérdida de carga acumulada tramo	Pérdida de carga acumulada accidentes	Pérdida de 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

• **Cálculo de la red de riego**

Si tenemos un total de 14 puntos de riego, con una longitud de red de 12.020 m, y siendo el consumo máximo utilizado de 8 horas al día, se podría calcular el consumo medio unitario por metro lineal de la 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. Se considera 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

$$Q = \frac{14 \cdot 28 \cdot 3.600}{12.020 \cdot 8} = 14,68 \text{ l/m}$$

Con lo que si se realiza el cálculo para la red de riego más exhaustiva sería de la siguiente manera.

Tramo	Punto inicial	Punto final	Long.	Consumo medio unitario	Consumo en tramo	Caudal de circulación en S3	Caudal total
			m	l/m	l	l/s	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 x 3600)) l/s

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

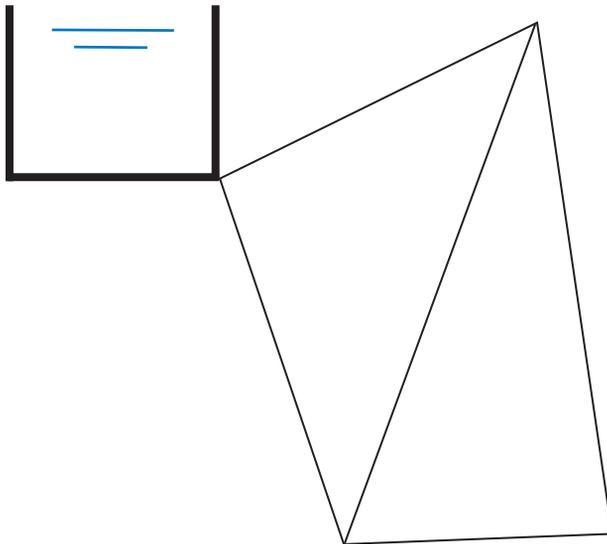
• Red mallada

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.

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.



Esquema de red mallada





En las distribuciones en mallas cerradas se deben cumplir una serie de reglas para circuitos cerrados, siendo las mismas que en los circuitos eléctricos, éstas 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.

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

Teniendo esto en cuenta desde el punto de vista hidráulico se considera:

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

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

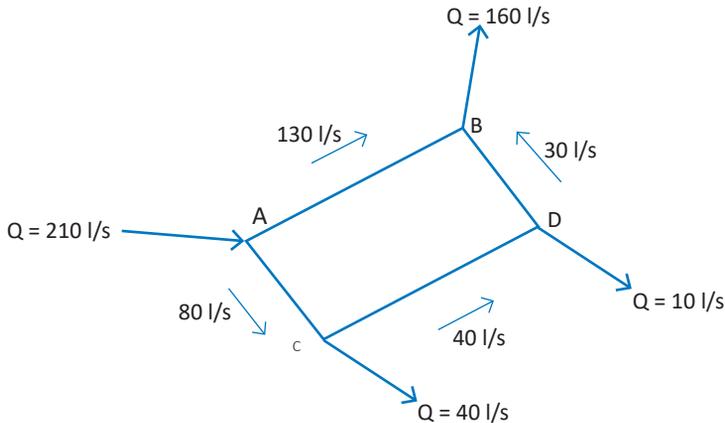
- La suma algebraica de las pérdidas de carga en un circuito cerrado es nula.

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

Por tanto, para una red mallada se definirá una serie de caudales que cumpla 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 nº 1

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



Esquema de red de distribución de una sola malla

Por tanto, se deberá 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:

$$\Delta Q = - \frac{\sum_{k=1}^n J_k}{2 \cdot \sum_{k=1}^n J_k / Q_k}$$



Se hará por tanto el **primer cálculo**:

Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	DI (mm)	Sección (m ²)	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 **primera 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 (m ²)	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 **segunda corrección**:

Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	DI (mm)	Sección (m ²)	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 **tercera corrección**:

Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	DI (mm)	Sección (m ²)	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:

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

$$\Delta Q = - \frac{0,034}{2 \cdot 0,406} = 0,04 \text{ l/s (valor aceptable)}$$

Y el cumplimiento igualmente de la primera condición:

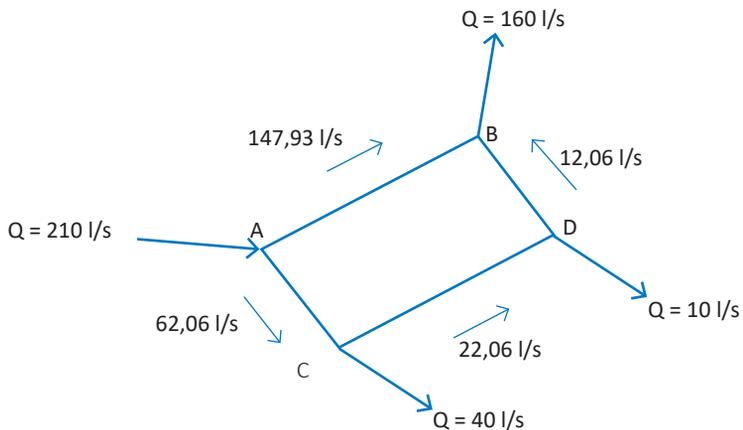
$$\text{Nudo A: } 210 - 147,9 - 62,1 = 0$$

$$\text{Nudo B: } 147,9 + 12,1 - 160 = 0$$

$$\text{Nudo C: } 22,1 + 40 - 62,1 = 0$$

$$\text{Nudo D: } 10 + 12,1 - 22,1 = 0$$

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



Esquema de red mallada

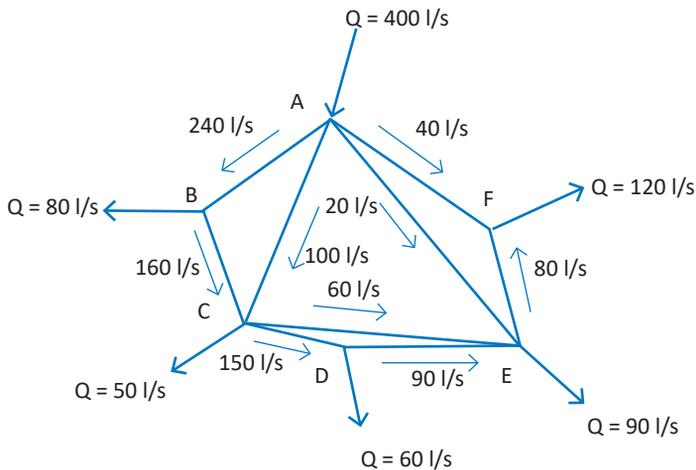
Caso práctico nº 2

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

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

Se define la siguiente composición de mallas, realizándose correcciones de las mismas por separado:

- Malla ABCDEFA
- Malla ACEA



Esquema de red de distribución con más de una malla



Se realiza para ambas mallas el **primer cálculo**:

Malla ABCDEFA										
Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	DI (mm)	Sección (m ²)	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 (m ²)	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:

$$\Delta Q_1 = - \frac{-13,110}{2 \cdot 0,346} = 18,94 \text{ l/s}$$

$$\Delta Q_2 = - \frac{-4,016}{2 \cdot 0,757} = 2,65 \text{ l/s}$$

Valores después de la **primera corrección**:

Malla ABCDEFA										
Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	DI (mm)	Sección (m ²)	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 (m ²)	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

Se comprueba que para ambas mallas:

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

Luego se determina 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 **segunda corrección**:

Malla ABCDEFA										
Sentido circulación	Tramo	PVC-O DN (mm)	DI (mm)	Sección (m ²)	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 (m ²)	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

Se comprueba 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:

$$\text{Nudo A: } 400 - 220,8 - 59,2 - 97,2 - 22,8 = 0$$

$$\text{Nudo B: } 220,8 - 80 - 140,8 = 0$$

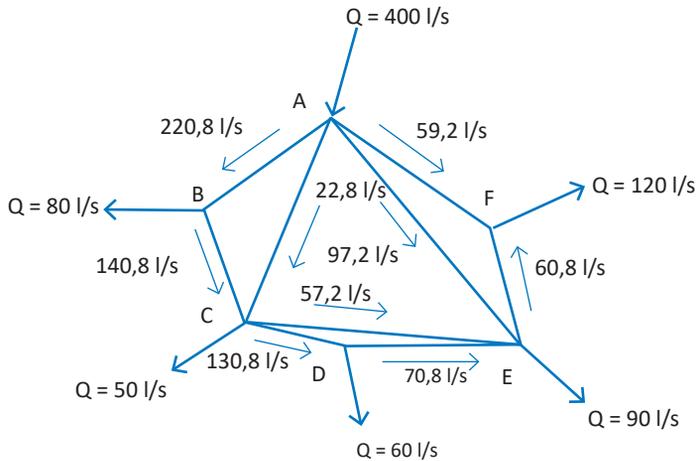
$$\text{Nudo C: } 97,2 + 140,8 - 50 - 57,2 - 130,8 = 0$$

$$\text{Nudo D: } 130,8 - 60 - 70,8 = 0$$

$$\text{Nudo E: } 57,2 + 22,8 + 70,8 - 90 - 60,8 = 0$$

$$\text{Nudo F: } 59,2 + 60,8 - 120 = 0$$

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



Esquema de red de distribución con más de una malla

Haz tus propios cálculos con el programa de cálculo mecánico creado por Molecor

www.tomcalculation.com

Tuberías de PVC-O TOM®



1.3. Selección de la presión nominal

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.

• 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 estanqueidad.
- **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.

• 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/cm^2) 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 (véase Anexo "*Normativa y Referencias bibliográficas*") "*Tubos y uniones de poli(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/cm^2)

- **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 estanqueidad 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:





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

Donde:

P_r : presión de rotura, en N/mm²

e : espesor de la pared del tubo, en mm

DI : 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%).

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. 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.

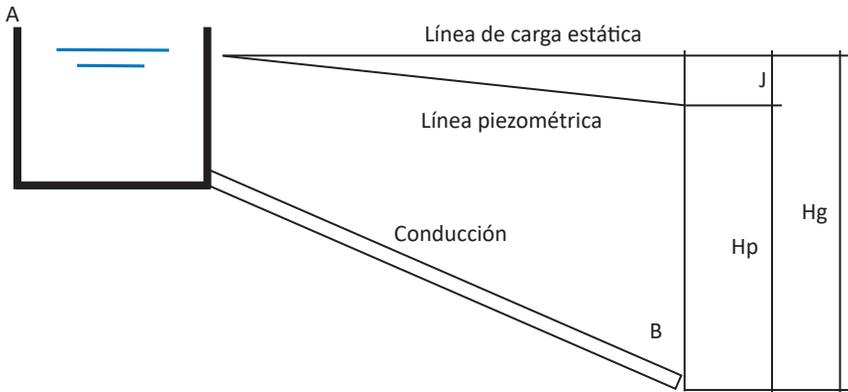


$$\Delta H_g (H_{\text{geométrica}})$$

Tal y como se ha explicado en el apartado "*Conducción por gravedad*" (página 27) y en el apartado "*Conducción por bombeo*" (página 40), 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 la altura geométrica (H_g), y se produce cuando la salida de la tubería es libre, con lo que pérdida de carga = pendiente del perfil de red.



Esquema de conducción por gravedad

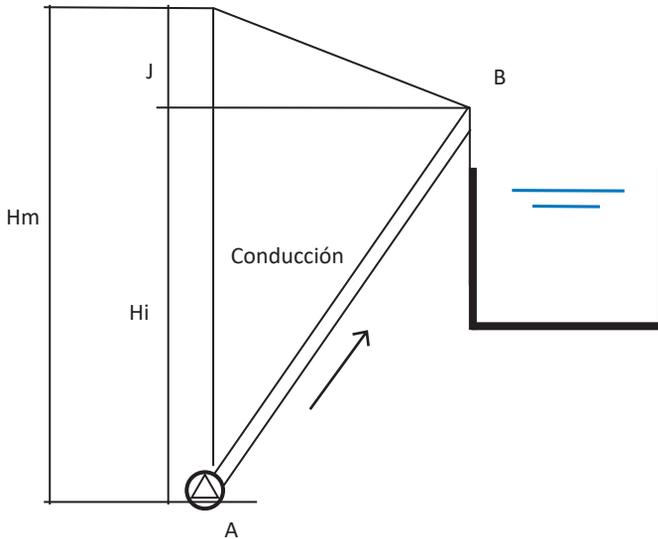
• Conducción por bombeo

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

- **A** : equipo de bombeo.
- **B**: depósito receptor.
- **Hi**: 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 ser vencidos por el equipo de bombeo.
- **Hm**: altura manométrica. Es la presión que debe aportar el grupo de bombeo para vencer la resistencia ofrecida por el agua debida a la altura de impulsión mas las pérdidas de carga.



Tuberías de PVC-O TOM®



Esquema de conducción por bombeo

1.3.3. Efecto de 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 está 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 está 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 su producción es menor que aquella para 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 disminuyendo el golpe de ariete.

Operacionalmente la ventosa garantiza la manutención de las redes y su eficiencia, facilitando además su llenado y vaciado, reduciendo 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 importantes 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 ventosa 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 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 después 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.

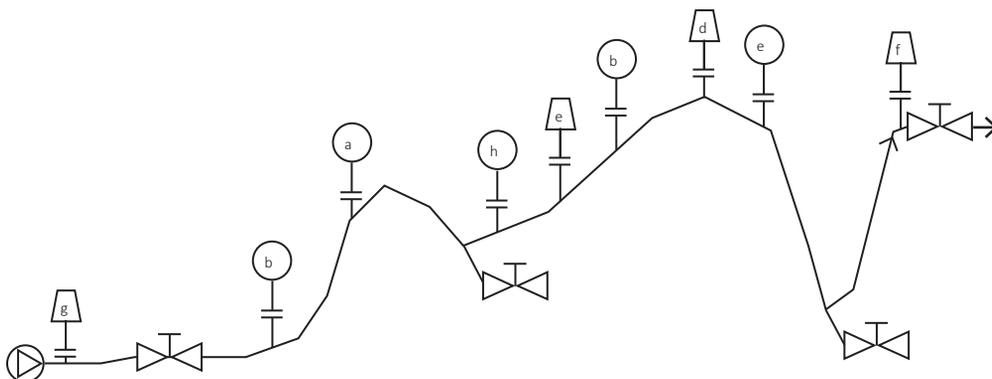


Diagrama criterios de instalación de ventosas

• 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 son incompresibles, por lo que el volumen de aire a evacuar es igual al volumen desplazado por el agua y por tanto, el caudal de aire es igual al caudal que pasa por la tubería.

Teniendo esto en cuenta, 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.

1.3.4. Pérdidas de carga en la tubería y accesorios

En el apartado "*Conducción por gravedad*" (página 27) se ha tratado la temática de las pérdidas de carga debidas tanto por la conducción como por las localizadas, siendo válido lo expuesto para conducciones por gravedad así como para conducciones por bombeo.





1.3.5. Golpe de ariete

• 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. 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 fase** 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 se tenía 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).

• 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/m^2 y cuyo valor es:

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

E: módulo de elasticidad, en kg/m^2 , para la tubería de PVC Orientado TOM[®]: $4 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$

A continuación, se muestran algunos ejemplos de cálculo:

		PVC-O TOM® Clase 500 PN16																			
		DN90	DN110	DN125	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN355	DN400	DN450	DN500	DN630	DN710	DN800	DN900	DN1000	DN1200	
DI	mm	84,3	103,1	117,8	132,3	151,2	189,0	212,6	236,3	297,7	335,5	378,0	425,3	472,5	595,4	671,0	756,1	850,6	945,1	1134,1	
e	mm	2,0	2,4	2,8	3,1	3,5	4,4	5,0	5,5	6,9	7,8	8,8	9,9	11,0	13,8	15,4	17,4	19,6	21,7	26,2	
E	kg/m ²	4,00E+08																			
K _c	kg/m ²	25																			
a	m/s ²	289	286	290	289	287	288	289	288	287	287	288	288	288	287	286	286	286	286	286	287

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.

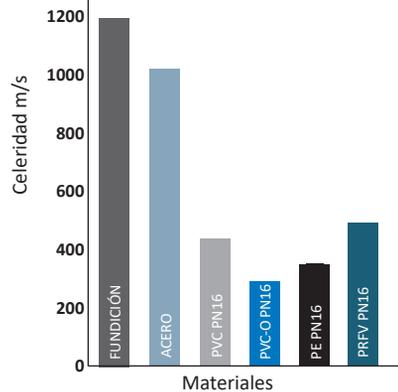
En el caso de que la conducción esté constituida por tramos de tubos de diferentes características, la celeridad media se calculará como la media ponderada de la celeridad de cada tramo. Si L_1, L_2, L_3, \dots , son las longitudes de los tramos de distintas características y a_1, a_2, a_3, \dots las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

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

• **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 incluyendo un volante al grupo motobomba o un sistema similar.





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

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

Donde:

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,

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

Donde:

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 tendrá un cierre rápido, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería.
- Si $T_c < T$, se estará 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.

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 se puede controlar (T) se limitarán en gran medida los problemas en las tuberías, siendo éste el caso de los abastecimientos por gravedad.

• **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 se encuentre (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:

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



Donde:

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 (L_c) y su valor se obtiene, lógicamente, igualando las fórmulas de Michaud y Allievi:

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

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

- Si $L < L_c$ se trata de una impulsión (conducción) corta que se correspondería con un cierre lento, calculándose el golpe de ariete mediante la fórmula de Michaud.
- Si $L > L_c$ entonces la impulsión (conducción) es larga y el cierre rápido, siendo el valor del golpe de ariete el dado por Allievi desde la válvula hasta el punto crítico y por Michaud en el resto.

$L < L_c$	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	$\Delta P = \frac{a \cdot v}{g}$
-----------	-----------------	---------------------------	---------------	---------	----------------------------------



Soluciones completas para el
mercado de agua a presión

ECO
FITOM

*La nueva generación
de tuberías de PVC
Orientado*

Desde DN90
hasta DN1200 mm
PN12.5, 16, 20
y 25 bar

*Sistema
uniforme
y continuo
en PVC-O*

**Gran resistencia
hidrostática**

Absoluta resistencia a la corrosión
Máxima resistencia *Estanqueidad*
al golpe de ariete *asegurada*

Alta resistencia al impacto

**Máxima
flexibilidad**

*Los
primeros accesorios
del mundo fabricados
en PVC-O*

Manguito
Manguito pasante

Reducción

Codo
11.25°, 22.5°, 45° y 90°

info@molecor.com
www.molecor.com



Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención nº 756698

Caso práctico

Impulsión corta. Cierre lento. Calculándose mediante ecuación de Michaud.

Tubería		PVC-O DN355 PN16	PE 100 DN355 PN16	FD K9 DN350	
Longitud (L)	m	1600	1600	1600	
H _g	H geométrica	m	10	10	
Q	Caudal	m ³ /h	350	350	
Q	Caudal	l/s	97	97	
DI	Diámetro interior	m/m	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 + A _h	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/m ²	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

Al tratarse de un cierre lento la celeridad no influye (ver fórmula Michaud), por este motivo, observamos de los resultados obtenidos que el golpe de ariete de la fundición se iguala al resto de materiales. Sin embargo, este tipo de cierre no es el más habitual, por lo tanto, debemos tener en cuenta los resultados que vamos a calcular a continuación con la fórmula de Allievi.

Impulsión larga. Cierre rápido. Calculándose mediante ecuación de Allievi.

Tubería		PVC-O DN355 PN16	PE 100 DN355 PN16	FD K9 DN350
Longitud (L)		m	1600	1600
H_g	H geométrica	m	80	80
Q	Caudal	m ³ /h	350	350
Q	Caudal	l/s	97	97
DI	Diámetro interior	mm	336,0	290,6
v	Velocidad del agua	m/s	1,10	1,47
Pérdida de carga continua para tubería en servicio calculada por Hazen-Williams				
C	Coefficiente de Hazen-Williams	-	150	150
J	Pérdida de carga	m/km	2,69	5,45
Δh	Pérdida de carga	m.c.a.	4,30	8,72
ΔH_m	$H_g + Ah$	m.c.a.	84,30	88,72
Sobrepresión por golpe de ariete				
v	Velocidad del agua	m/s	1,10	1,47
e	Espesor	mm	7,8	32,2
E	Módulo de elasticidad a largo plazo	kg/m ²	4,00E+08	1,00E+08
K_c	Valor K largo plazo (característica del material)	-	25,0	100,0
a	Celeridad	m/s	292	318
T	Tiempo de cierre	s	3,12	3,69
m	Pendiente hidráulica	-	0,053	0,055
C	Coef. "C" s/ Mendiluce	-	1,00	1,00
K	Coef. "K" s/ Mendiluce	-	1,00	1,00
T_c	Tiempo crítico	s	10,94	10,06
L_c	Longitud crítica	m	456,42	587,73
	Tipo de conducción	-	Larga	Larga
	Tipo de cierre	-	Rápido	Rápido
	Fórmula	-	Allievi	Allievi
ΔP	Golpe de ariete (\pm)	m.c.a.	32,69	47,54

• Tabla de presiones operativas

Los valores de presión definidos en la norma UNE-EN 805 (véase Anexo "Normativa y Referencias bibliográficas") de la **tubería TOM® de PVC-O** para aplicaciones de presión vienen definidos en la siguiente tabla:



Presión nominal (bar)		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	23,1	28,9	36,7	48,1

(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 (Presión Máxima Admisible). De forma continua, no se debe superar el valor de PFA (Presión de Funcionamiento Admisible). **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 antiarriete, etc.).**

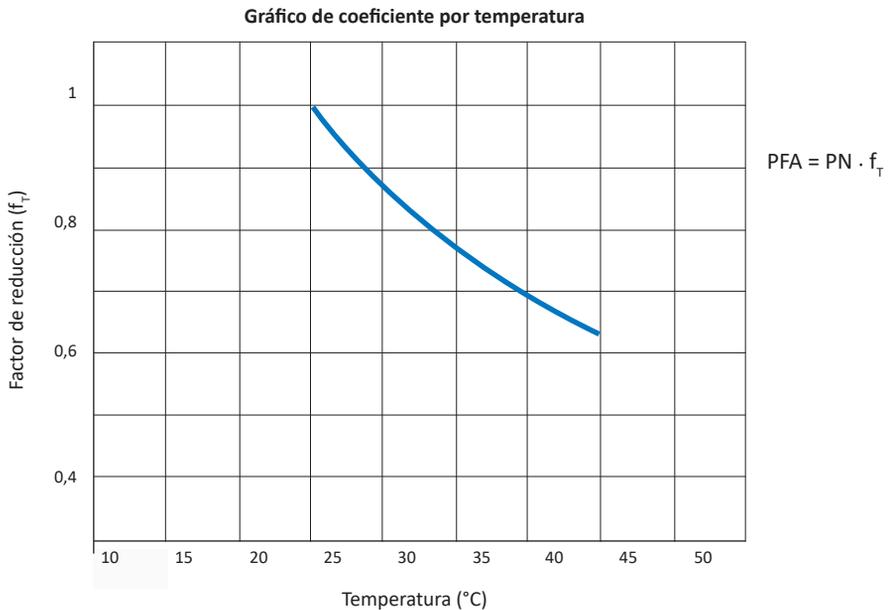
Para determinar la presión máxima operativa que es capaz de soportar en servicio una tubería instalada, o la vida útil de la misma, se deben tener en cuenta no solamente los valores de presión interna, sino el resto de esfuerzos y exigencias a los que está sometida la tubería, como pueden ser acciones 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 "*Cálculos mecánicos*", página 90).

Todos los valores anteriores corresponden a tuberías 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 1.4 "*Influencia de la temperatura y otros coeficientes de diseño*" página 88).

1.4. Influencia de la temperatura y otros coeficientes de diseño

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 utilizar para aminorar todos los valores de presiones operativas descritos en el punto "*Tabla de presiones operativas*" página 87.



1.4.2 Influencia de los distintos coeficientes de seguridad

Además del coeficiente de reducción por temperatura definido anteriormente, se deben 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 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 llevar a utilizar un coeficiente de reducción por aplicación (f_A) son muy diversas, algunos ejemplos serían:

- **Existencia de otras exigencias o esfuerzos además de la presión interna de importancia** (ver "*Cálculos mecánicos*" página 90): acciones gravitatorias, acciones del terreno, sobrecargas, etc.
- **Bajo nivel 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





- **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 coeficientes de reducción por aplicación (f_A) que sean aconsejados por las condiciones de la red.

2. Cálculos mecánicos

2.1. Clasificación de los distintos tipos de tuberías

Las tuberías pueden clasificarse en rígidas, semirrígidas y flexibles, según el comportamiento mecánico de la sección transversal. 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: $\frac{\Delta D}{D} > 3\%$

Según la norma CEN/TR 1295-3:2007 (véase Anexo "*Normativa y certificaciones*") cuando se considere que el material de la tubería es homogéneo, entonces la rigidez anular de la tubería (S) viene dada por:

$$S = \frac{E}{12} \cdot \left(\frac{e}{D_m} \right)^2$$

Donde:

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	4000	2800
PVC	3600	1750
PE	800	200

e: espesor del tubo, en m

D_m: diámetro medio del tubo, en m

Con objeto de obtener el tipo de comportamiento del sistema tubería suelo y poder evaluar el factor de concentración, mediante el parámetro S_c se define un criterio de rigidez relativa:

$$S_c = \frac{E_s}{8S(1-\vartheta_s^2)}$$

Donde:

S_c: parámetro de rigidez relativa

E_s: módulo del suelo del material circulante después de la corrección, MPa

S: rigidez anular de la tubería

ϑ_s: módulo de Poisson del suelo; normalmente su valor es 0.3, adimensional

La clasificación recogida en dicha norma es:

Rígidas: S_r ≤ 9

Semirrígidas: S_r > 24

Flexibles: 9 ≤ S_r ≤ 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 (véase Anexo "*Normativa y Referencias bibliográficas*") 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, con lo que de forma general, se puede definir la siguiente clasificación de las tuberías:

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

2.2. Fuerzas de empuje

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, tes 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)

$$S = \pi \cdot \frac{Dl^2}{4} \qquad S = \pi \cdot \frac{(Dl_1^2 - Dl_2^2)}{4}$$

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

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

Se tienen los siguientes valores:

Accesorios	Valor de K
Tes a 90° y Tapones	1
Codos 90°	1,414
Codos 45°	0,765
Codos 22°30'	0,39
Codos 11°15'	0,196

Cuando la geometría del accesorio es distinta a éstas, 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 una serie de accesorios en PN16 (se considerará una presión de trabajo de 11,4 bar, y una presión de ensayo de 16 bar).

DN mm	DI mm	S cm ²	P bar	KN				
				Tes y tapones	Codo 90°	Codo 45°	Codo 22°30'	Codo 11°15'
90	84,0	55,42	16	8,84	12,51	6,77	3,45	1,73
110	104,0	84,95	16	13,56	19,17	10,37	5,29	2,66
125	117,8	108,99	16	17,44	24,66	13,34	6,80	3,42
140	132,4	137,68	16	21,97	31,07	16,81	8,57	4,31
160	151,4	180,03	16	28,73	40,63	21,98	11,21	5,63
200	189,2	281,15	16	44,87	63,45	34,33	17,50	8,79
225	212,8	355,66	16	56,76	80,26	43,42	22,14	11,13
250	236,4	438,92	16	70,05	99,05	53,59	27,32	13,73
315	298,0	697,46	16	111,32	157,40	85,16	43,41	21,82
355	336,0	886,68	16	141,51	200,10	108,26	55,19	27,74
400	378,4	1.124,58	16	179,48	253,79	137,31	70,00	35,18
450	426,0	1.425,31	16	227,48	321,66	174,02	88,72	44,59
500	472,8	1.755,68	16	280,21	396,21	214,36	109,28	54,92
630	595,8	2.787,99	16	444,96	629,18	340,40	173,54	87,21
710	671,4	3.540,40	16	566,46	800,98	433,35	220,92	111,03
800	757,8	4.510,23	16	719,83	1.017,84	550,67	280,74	141,09



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. En caso de curvatura excesiva habría que apoyar con anclaje.

Esfuerzo en un tubo curvado 2°(α=2°) en KN ⁽¹⁾						
DN mm	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
125	0,04	0,22	0,45	0,67	0,90	1,12
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
710	1,46	7,30	14,61	21,91	29,21	36,51
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 °

φ: ángulo de rozamiento entre la conducción y el terreno, en °

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:

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

Donde:

δ_s : peso específico del terreno y fricción del terreno (ver tabla 1), en kg/m^3

H_1 : profundidad del macizo de hormigón desde su base hasta la cota del terreno, en m

H_2 : 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 °

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

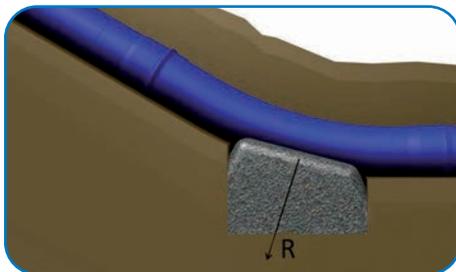
δ_s : peso específico del terreno, en kg/m^3

f: coeficiente de rozamiento entre la tierra y el hormigón (ver tabla 1)

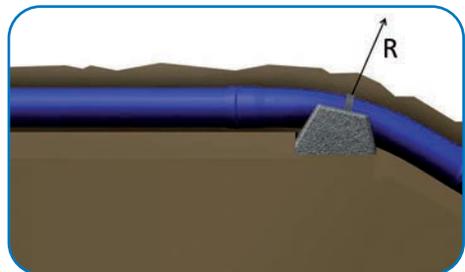
A continuación se muestran los valores para distintos tipos de materiales de suelos.

Tabla 1	θ	$f = \text{Sen}(\theta)$	δ_c (kg/m^3)
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

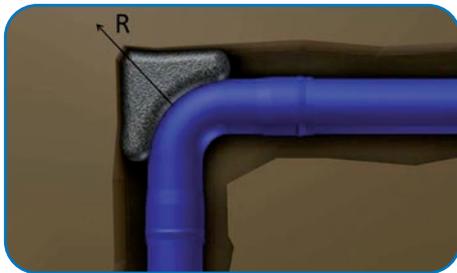
Las siguientes figuras muestran la disposición de algunos anclajes típicos.



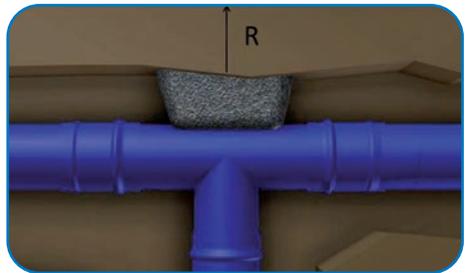
Curva tipo 1



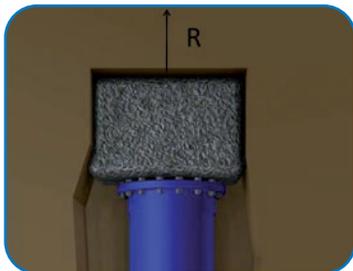
Curva tipo 2



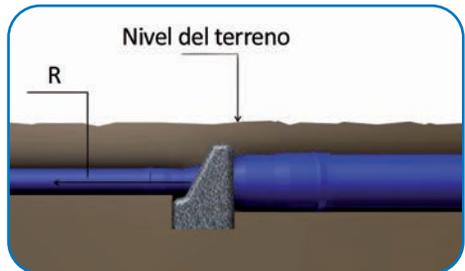
Curva a 90° (planta)



Te (planta)



Extremo de anclaje (planta)



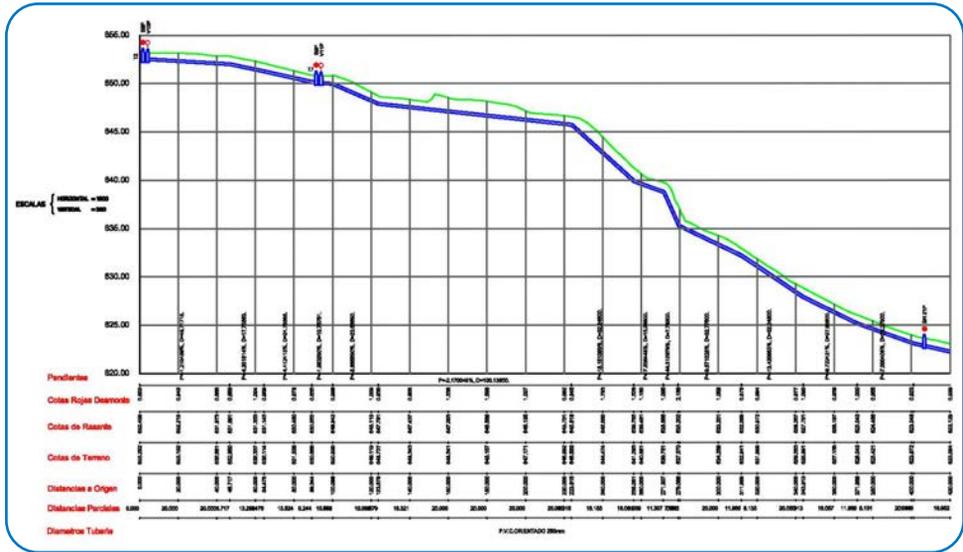
Reducción (sección)



Anclajes de hormigón

Caso práctico

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



Perfil longitudinal de una red a presión



Ejemplos de preparación de anclajes


Tipo de terreno: Roca fragmentada
Codo Vertical Fundición 45° DN250 PN16 - pK 0+223,8

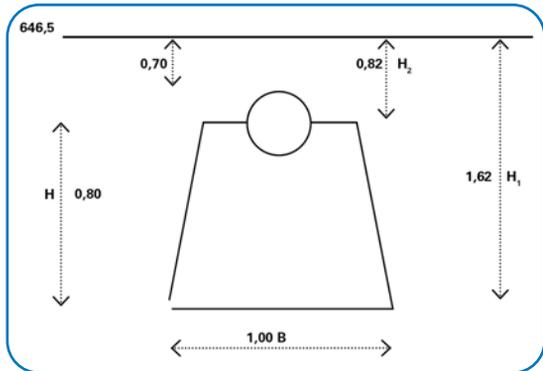
DN	250
P prueba (bar)	16,0
α (°)	45
K	0,77

DN	250
Sección interior (m ²)	0,05
P prueba (kg/m ²)	160.000
F (Kp)	6.011

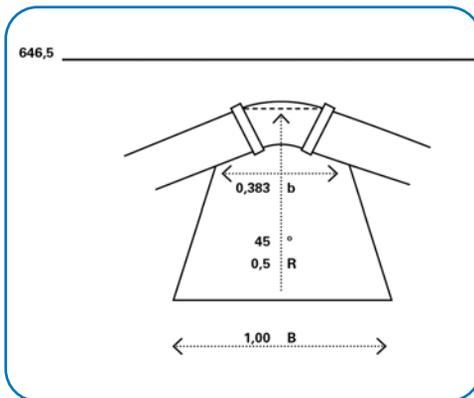
Roca fragmentada
T_g: Reacción pasiva del suelo

δ_s	kg/m ³	2.000,00
H ₁	m	1,62
H ₂	m	0,82
θ	°	40,00
B	m	1,00

$$T_g = 0,5 \delta_s (H_1^2 - H_2^2) / B \operatorname{tg}^2 (45 + \theta/2) \quad \text{kp} \quad 8.977,07$$



Anclaje de hormigón



Anclaje de hormigón codo 45°

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	m ²	0,55
V _c	m ³	0,44
δ_c	kg/m ³	2.100,00
V _s (compactación 95-97%)	m ³	0,45
δ_s	kg/m ³	2.000,00
f	-	0,64
T _f = (V _c · δ_c + V _s · δ_s) · f	Kp	1.175,17

Coeficiente 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

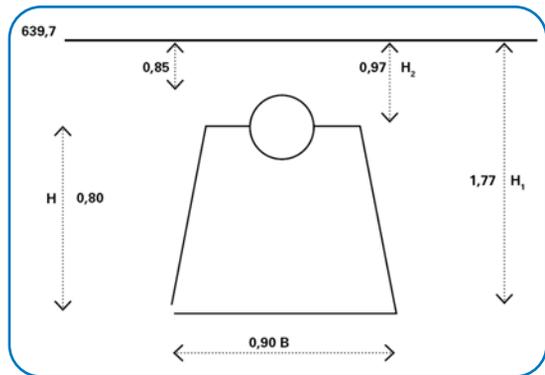
DN	250
Sección interior (m ²)	0,05
P prueba (kg/m ²)	160.000
F (Kp)	6.011

Roca fragmentada

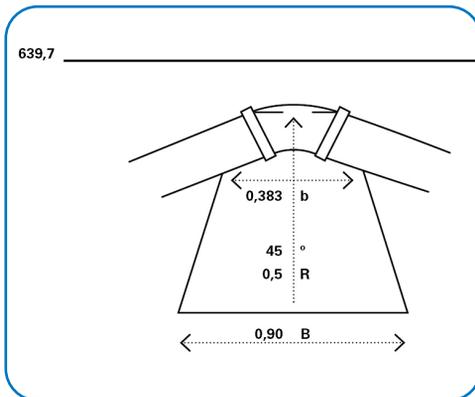
T_g : Reacción pasiva del suelo

δs	kg/m ³	2.000,00
H ₁	m	1,77
H ₂	m	0,97
θ	°	40,00
B	m	0,90

$$T_g = 0,5 \delta s (H_1^2 - H_2^2) / B \operatorname{tg}^2 (45 + \theta/2) \quad \text{kp} \quad 9.033,88$$



Anclaje de hormigón



Anclaje de hormigón codo 45°

T_i : 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	m ²	0,51
Vc	m ³	0,41
δc	kg/m ³	2.100,00
Vs (compactación 95-97%)	m ³	0,50
δs	kg/m ³	2.000,00
f	-	0,64
$T_i = (Vc \cdot \delta c + Vs \cdot \delta s) \cdot f$	Kp	1.185,12

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

Codo Vertical Fundición 45° DN250 PN16 - pK 0+279

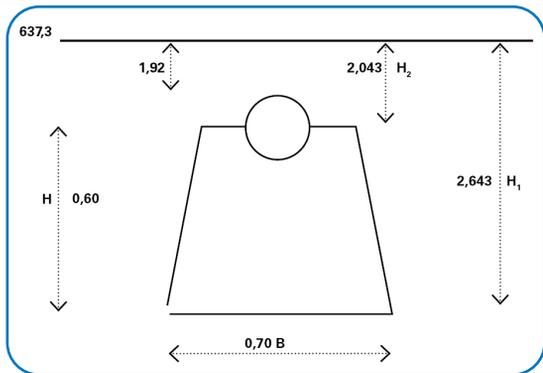
DN	250
P prueba (bar)	16,0
α (°)	45
K	0,77

DN	250
Sección interior (m ²)	0,05
P prueba (kg/m ²)	160.000
F (Kp)	6.011

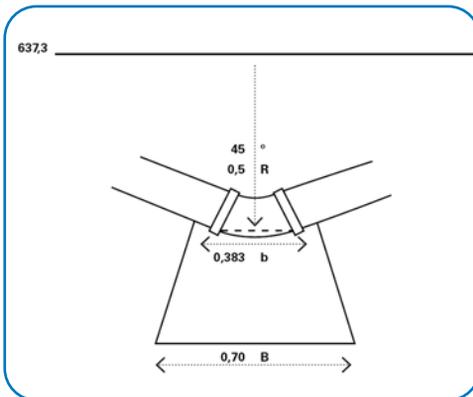
Roca fragmentada
T_g: Reacción pasiva del suelo

δs	kg/m ³	2.000,00
H ₁	m	2,64
H ₂	m	2,04
θ	°	40,00
B	m	0,70

$$T_g = 0,5 \delta s (H_1^2 - H_2^2) / B \operatorname{tg}^2 (45 + \theta/2) \quad \text{kp} \quad 9.051,21$$



Anclaje de hormigón



Anclaje de hormigón codo 45°

T_f: 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	m ²	0,32
Vc	m ³	0,19
δc	kg/m ³	2.100,00
Vs (compactación 95-97%)	m ³	0,66
δs	kg/m ³	2.000,00
f	-	0,64
T _f = (Vc · δc + Vs · δs) · f	Kp	1.111,30

Coeficiente 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

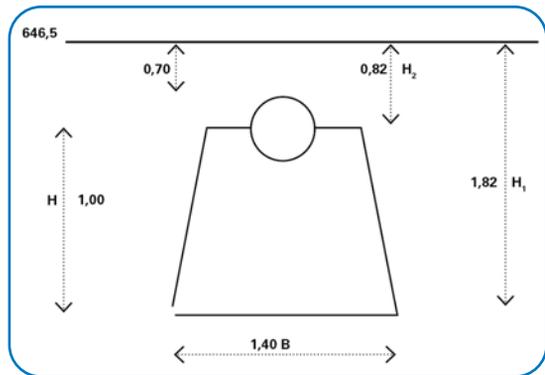
DN	250
Sección interior (m ²)	0,05
P prueba (kg/m ²)	160.000
F (Kp)	6.011

Limos y arcillas

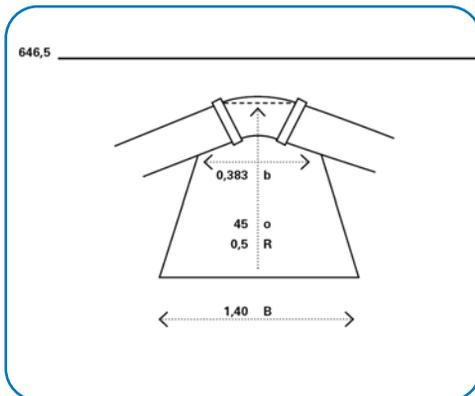
T_g: Reacción pasiva del suelo

δs	kg/m ³	1.900,00
H ₁	m	1,82
H ₂	m	0,82
θ	°	25,00
B	m	1,40

$$T_g = 0,5 \delta s (H_1^2 - H_2^2) / B \operatorname{tg}^2 (45 + \theta/2) \quad \text{kp} \quad 8.651,29$$



Anclaje de hormigón



Anclaje de hormigón codo 45°

T_i: 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	m ²	0,89
Vc	m ³	0,89
δc	kg/m ³	2.100,00
Vs (compactación 95-97%)	m ³	0,73
δs	kg/m ³	1.900,00
f	-	0,42
T _i = (Vc · δc + Vs · δs) · f	Kp	1.369,42

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

Codo Vertical Fundición 45° DN250 PN16 - pK 0+271,3

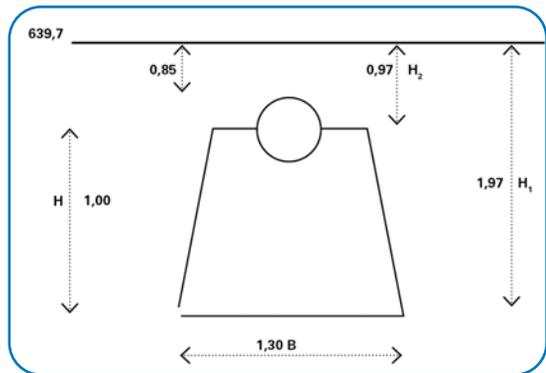
DN	250
P prueba (bar)	16,0
α (°)	45
K	0,77

DN	250
Sección interior (m ²)	0,05
P prueba (kg/m ²)	160.000
F (Kp)	6.011

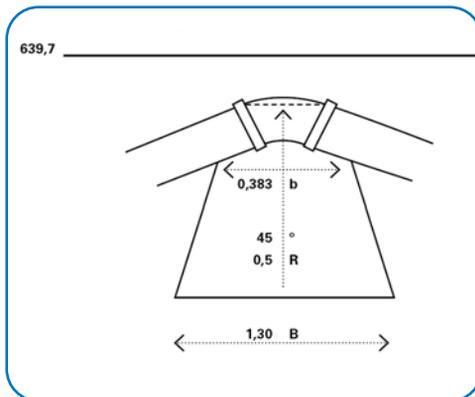
Limos y arcillas
T_g: Reacción pasiva del suelo

δ_s	kg/m ³	1.900,00
H ₁	m	1,97
H ₂	m	0,97
θ	°	25,00
B	m	1,30

$$T_g = 0,5 \delta_s (H_1^2 - H_2^2) / B \operatorname{tg}^2 (45 + \theta/2) \quad \text{kp} \quad 8.946,22$$



Anclaje de hormigón



Anclaje de hormigón codo 45°

T_f: 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	m ²	0,84
V _c	m ³	0,84
δ_c	kg/m ³	2.100,00
V _s (compactación 95-97%)	m ³	0,82
δ_s	kg/m ³	1.900,00
f	-	0,42
$T_f = (V_c \cdot \delta_c + V_s \cdot \delta_s) \cdot f$	Kp	1.393,31

$$\text{Coeficiente de seguridad } (>1,5) \quad - \quad 1,72$$

Codo Vertical Fundición 45° DN250 PN16 - pK 0+279

DN	250
P prueba (bar)	16,0
α (°)	45
K	0,77

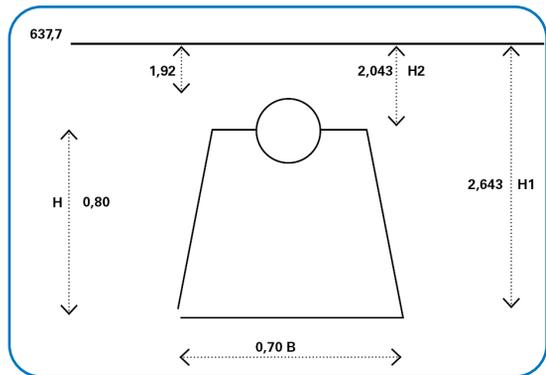
DN	250
Sección interior (m ²)	0,05
P prueba (kg/m ²)	160.000
F (Kp)	6.011

Limos y arcillas

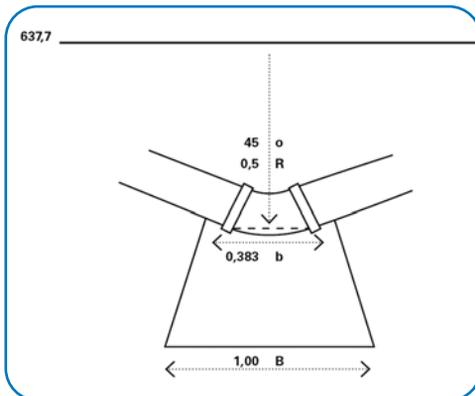
T_g: Reacción pasiva del suelo

δ_s	kg/m ³	1.900,00
H ₁	m	2,84
H ₂	m	2,04
θ	°	25,00
B	m	1,00

$$T_g = 0,5 \delta_s (H_1^2 - H_2^2) / B \operatorname{tg}^2 (45 + \theta/2) \quad \text{kp} \quad 9.149,40$$



Anclaje de hormigón



Anclaje de hormigón codo 45°

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	m ²	0,55
Vc	m ³	0,44
δ_c	kg/m ³	2.100,00
Vs (compactación 95-97%)	m ³	1,13
δ_s	kg/m ³	1.900,00
f	-	0,42
$T_r = (Vc \cdot \delta_c + Vs \cdot \delta_s) \cdot f$	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 45° considerando como mínimo estas características:

pK	Anclaje de hormigón			Coeficiente de seguridad (>1,5)
	Base mayor (B), m	Base menor (b), m	Altura (H), m	
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 45° considerando como mínimo estas características:

pK	Anclaje de hormigón			Coeficiente de seguridad (>1,5)
	Base mayor (B), m	Base menor (b), m	Altura (H), m	
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_v) de 95 – 97% en todos los casos.

2.3. Instalaciones enterradas

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 (véase Anexo "Normativa y Referencias bibliográficas").

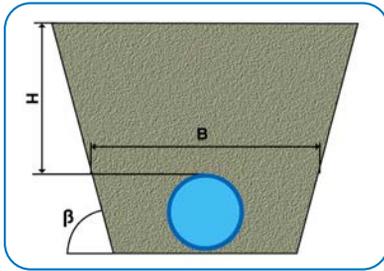
- **Excavación**

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

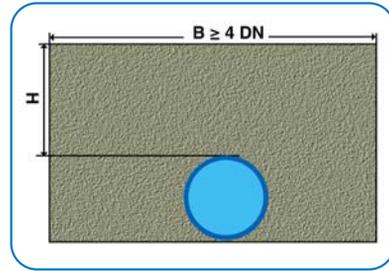
Tipo 1: Instalación en zanja o bajo terraplén

Los datos que deben 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 $B \geq 4 \text{ DN}$.
- Ángulo de inclinación de las paredes de la zanja, β , en grados.



Esquema de instalación en zanja ⁽¹⁾



Esquema de instalación en terraplén ⁽²⁾

(1) $B \leq 2 \text{ DN}$ y $H \geq 1,5B$ o $2 \text{ DN} < B \leq 3 \text{ DN}$ y $H \geq 3,5B$

(2) $B \geq 4 \text{ DN}$

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, una vez verificada mediante el cálculo correspondiente, según la hipótesis más desfavorable prevista para su uso.

Las anchuras mínimas de zanja se establecerán en función del diámetro nominal y la profundidad de la misma:

Diámetro Nominal (DN)	Anchura mínima de zanja, B (m)
90-250	0,60
315	0,85
355	1,10
400	1,10
450	1,15
500	1,20
630	1,35
710	1,60
800	1,65
900	1,75
1000	1,85
1100	1,95
1200	2,05

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

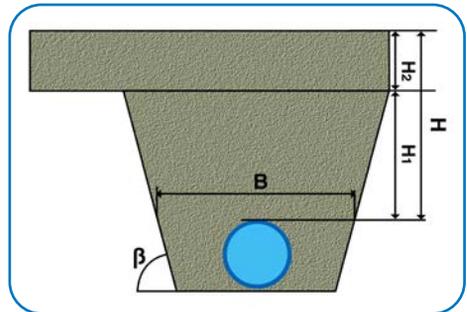
Desarrolla tus cálculos con el Programa de Cálculo Mecánico TOM®



Tipo 2: Instalación en zanja terraplenada

Los datos que deben de conocerse son:

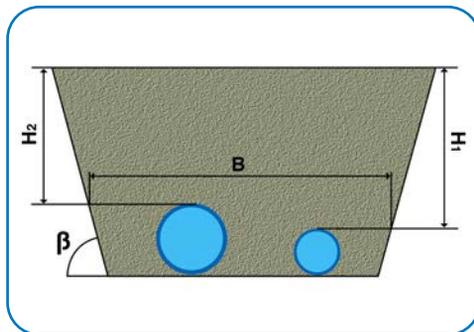
- Altura de recubrimiento por encima de la generatriz superior del tubo hasta el nivel del suelo natural, H_1 , en metros.
- Altura del recubrimiento en terraplén, H_2 , en metros.
- Anchura de la zanja al nivel de la generatriz superior del tubo, B , en metros.
- Ángulo de inclinación de las paredes de la zanja, β , en grados.



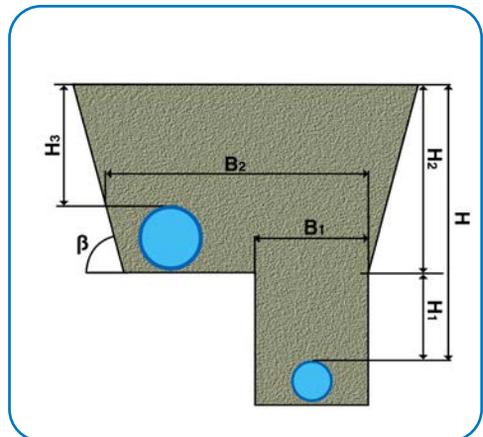
Instalación en zanja terraplenada

Tipo 3: Instalación de dos conducciones en la misma zanja

Los datos que deben 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

• **Características de apoyo y relación de proyección**

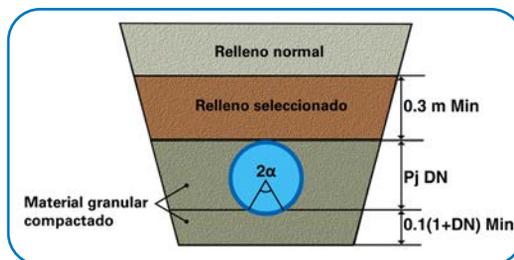
Apoyo Tipo A

Este tipo de apoyo consiste, esencialmente, en una cama continua de material granular compactado sobre la que descansa el tubo. Cuando el tubo descansa sobre el fondo de una zanja o suelo natural formado únicamente por suelos arenosos, exentos de terrones y piedras, puede asemejarse a una cama de material granulado.

La cama de apoyo debe tener una compactación uniforme en toda su longitud y envolver el tubo según el ángulo de apoyo 2α previsto con un mínimo de 60° . Se recomienda 2α igual a 120° . La relación de proyección para este tipo de apoyo es $P_j = 1$.

Diámetro Nominal (DN)	Profundidad mínima cama de apoyo (m)
90	0,109
110	0,111
125	0,113
140	0,114
160	0,116
200	0,120
225	0,123
250	0,125
315	0,132
355	0,136

Diámetro Nominal (DN)	Profundidad mínima cama de apoyo (m)
400	0,140
450	0,145
500	0,150
630	0,163
710	0,171
800	0,180
900	0,190
1000	0,200
1100	0,210
1200	0,220



Apoyo Tipo A

En resumen, y para un óptimo comportamiento de la instalación, se debe crear un lecho o cama de arena (u otro material granular fino) con un espesor de entre 10 y 18 cm sobre el que apoye el tubo. La tubería no puede reposar en ningún caso directamente sobre rocas o piedras grandes.



- **Relleno de la zanja**

Una vez colocados los tubos en la línea central de la zanja y ejecutadas las uniones, se procederá al relleno a ambos lados del tubo. El relleno se hará por capas apisonadas de espesor no superior a 15 cm, manteniendo constantemente la misma altura a ambos lados del tubo, hasta alcanzar la coronación de éste, la cual debe verse. El grado de compactación debe ser superior al 95% Proctor Normal. El grado de compactación a obtener será el mismo que el de la cama. Se cuidará especialmente que no queden espacios sin rellenar debajo del tubo.

Se procede al relleno de la zanja, hasta una altura de treinta centímetros por encima de la coronación del tubo, con relleno seleccionado. Se apisona con pistón ligero ambos lados del tubo y se deja sin compactar la zona central en toda la anchura de la proyección horizontal de la tubería.

A partir de ahí, puede usarse para el relleno tierra procedente de la excavación, compactada en capas sucesivas de altura no superior a 20 cm y con un grado de compactación 100% Proctor Normal.

2.3.2. Tensiones y esfuerzos

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

Acciones gravitatorias: Son producidas por los elementos constructivos de la tubería.

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: Éstas 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 de **PVC-O TOM®** son la presión interior, las acciones del terreno y el tráfico.

• 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. Los factores que influyen 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 y el relleno

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

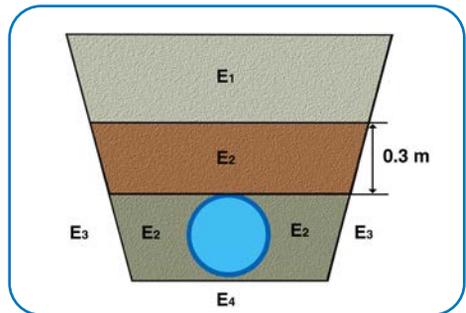
- Peso específico de las tierras de relleno (γ), en kN/m^3 . Si no se dispone de datos de ensayos se recomienda utilizar $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$.
- Ángulo de rozamiento interno del relleno (ρ), en grados.
- Ángulo de rozamiento del relleno con las paredes de la zanja (ρ'), en grados.
- Coeficiente 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, E_1 , E_2 , E_3 y E_4 , 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.



Tipo de relleno



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 (ρ)**, si no se tienen los ensayos correspondientes, la norma UNE 53331 (véase Anexo "*Normativa y Referencias bibliográficas*") recomienda adoptar los siguientes valores:

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

Y a partir del ángulo de rozamiento interno, ρ , de las tierras de relleno, se establece el **ángulo de rozamiento de relleno con las paredes de la zanja, ρ'** , distinguiéndose cuatro condiciones de compactación alrededor del tubo:

B1: por capas compactadas contra el suelo natural o dentro del terraplén, según proceda (sin verificación del grado de compactación) en toda la altura de la zanja; también para paredes con tabloncillos de soporte (construcción Berlinesa).

B2: construcción vertical dentro de la zona del tubo, con tablestacas de canal que alcancen la solera de la zanja y se retiren después del recubrimiento y antes de la compactación. Placas y dispositivos de construcción, siempre y cuando la compactación del terreno se efectúe después de retirarlos.

B3: construcción vertical dentro de la zona del tubo, con ataguías y perfiles de pilotaje ligeros; compactación contra los elementos de construcción, que penetran en la solera de la zanja.

B4: por capas compactas contra el suelo natural o dentro del terraplén, según proceda, con verificación del grado de compactación necesario (grado de compactación Proctor) en toda la altura de la zanja. La condición de relleno alrededor del tubo B4 no es aplicable a los suelos del grupo G4.

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 puede utilizar 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:

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

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:

Grupo de suelo	Módulo de compresión E_s (N/mm ²)					
	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	13
4	0,6	1,5	2	4	6	10



• 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. 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
5	Q 60	60	2	2	2	150	150

* 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 véase Anexo "*Normativa y Referencias bibliográficas*").

• 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.

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 nº 1

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, dadas 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

Calculo Mecánico (según UNE 53331) - Tuberías TOM® PVC-O DN250 PN16 / Talud Vertical

Condiciones Generales

Tubo en Terraplén

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

Presiones

Presión exterior del agua (P_e)	0,0	bar
Presión servicio (P_s)	13,0	bar

Apoyo Tipo A: cama continua de material granular

$2 \cdot \alpha$	90	°
------------------	----	---

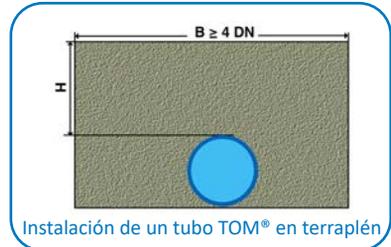
Relleno

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 arenas poco arcillosas o limosas. Porcentaje de finos ($\phi \leq 0,06$ 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 éste, 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 éste. Por último, se continúa el relleno en capas compactadas no superior a 20 cm

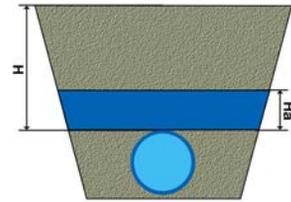
Sobrecargas

Vehículo de 3 ejes y 39 toneladas

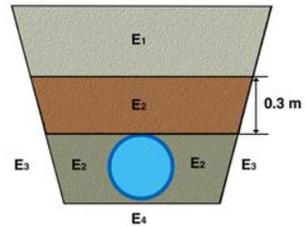
Dimensiones de la zanja

Cama de apoyo 0,13 m

Ancho de la zanja (B) según norma 1,0 m



Nivel freático



Tipo de relleno

TOM® DN250 PN16	H1 (m)	Zona sin pavimentar					Zona pavimentada (h1 aglomerado E _f = 20000 N/mm ² - capa de 10 cm; h2 zahorra E _f = 15000 N/mm ² - capa de 15 cm)				
		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 (q_v)	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 (P_{vc})	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 (P_{vr})	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 (q_{vt})	kN/m ²	51,54	46,63	49,02	53,25	58,24	27,81	33,41	39,33	45,54	51,97
Deformación (d_v)											
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 laterales											
Presión lateral de las tierras (q_{lt})	%	1,04%	0,86%	0,83%	0,85%	0,89%	0,49%	0,54%	0,61%	0,67%	0,75%
Coefficiente 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 (q_{lt})	-	Int. No Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. 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 (P_e) 0,0 bar
Presión servicio (P_s) 13,0 bar

Apoyo Tipo A: cama continua de material granular

$2 \cdot \alpha$ 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 arenas poco arcillosas o limosas. Porcentaje de finos ($\phi \leq 0,06$ 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 éste, 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 éste. Por último, se continúa el relleno en capas compactadas no superior a 20 cm

Sobrecargas

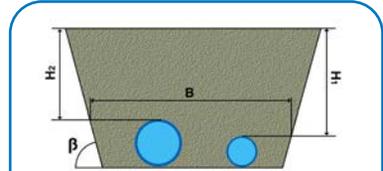
Vehículo de 3 ejes y 39 toneladas

Dimensiones de la zanja

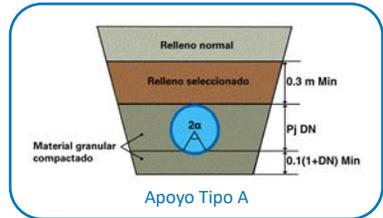
Cama de apoyo 0,13 m

Beta 45 °

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



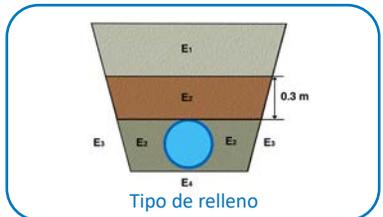
Instalación de dos tuberías TOM® al mismo nivel



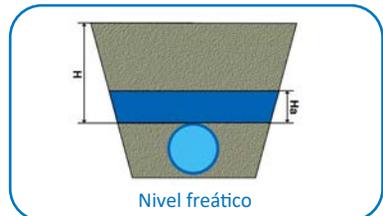
Apoyo Tipo A



Pavimento



Tipo de relleno



Nivel freático



TOM® DN250 PN16	H1 (m)	Zona sin pavimentar					Zona pavimentada (h1 aglomerado Ef= 20000 N/mm ² - capa de 10 cm; h2 zahorra Ef= 15000 N/mm ² - capa de 15 cm)				
		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 (q _v)	kN/m ²	14,13	20,02	25,50	30,64	35,51	14,13	20,02	25,50	30,64	35,51
Debida a sobrecargas concentradas (P _{vc})	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 (P _{vr})	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 (q _{vt})	kN/m ²	49,95	43,44	43,84	45,75	48,15	26,22	30,22	34,15	38,04	41,88
Deformación (d_v)											
Deformación <5%	kN/m ²	11,45	15,95	20,13	24,04	27,75	11,45	15,95	20,13	24,04	27,75
Presiones laterales											
Presión lateral de las tierras (q _{lt})	%	0,92%	0,73%	0,69%	0,68%	0,68%	0,42%	0,45%	0,48%	0,51%	0,55%
Coefficiente 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 (q _{lt})	-	Int. No Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. Válida	Int. Válida

Caso práctico nº 2

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: 63° (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 (P_e)	0,0	bar
Presión servicio (P_s)	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 arenas poco arcillosas o limosas. Porcentaje de finos ($\phi \leq 0,06$ mm), entre el 5% y el 15%

Compactaciones (protor normal)

E_1	100%
E_2	95%
E_3, E_4	95%

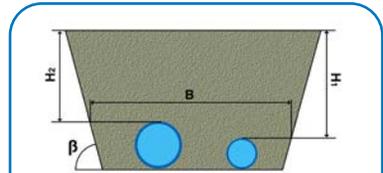
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja:
El relleno se hará por capas apisonadas de espesor no superior a 15 cm manteniendo constante la altura a ambos lados del tubo hasta alcanzar la coronación de éste, la cual debe quedar vista. Seguidamente se rellenará hasta 30 cm por encima de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

Sobrecargas

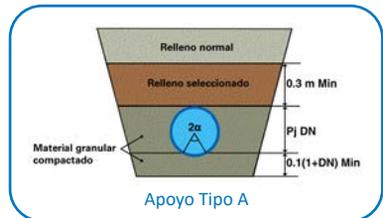
Ninguna (sin tráfico)

Dimensiones de la zanja

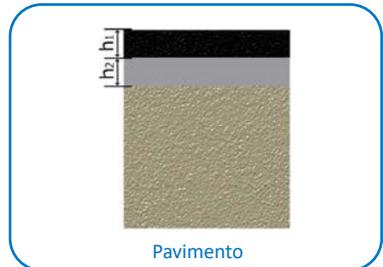
Cama de apoyo	0,13	m
Talud	1:2	
Beta	63	°
Ancho de la zanja (B)	2,0	m



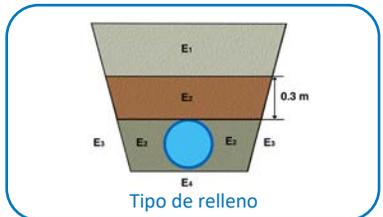
Instalación de dos tubos TOM® al mismo nivel



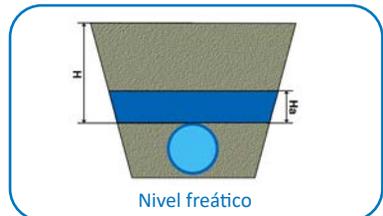
Apoyo Tipo A



Pavimento



Tipo de relleno



Nivel freático



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
Presiones verticales							
Debida a las tierras (q_v)	kN/m ²	14,75	14,84	35,25	35,24	50,10	49,99
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	14,75	14,84	35,25	35,24	50,10	49,99
Presiones laterales							
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	10,65	10,82	24,31	24,36	34,15	34,06
Deformación (d_v)							
Deformación <5%	%	0,21%	0,22%	0,50%	0,51%	0,69%	0,71%
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. 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
Presiones verticales							
Debida a las tierras (q_v)	kN/m ²	15,33	15,44	37,59	37,62	54,19	54,13
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	15,33	15,44	37,59	37,62	54,19	54,13
Presiones laterales							
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	13,44	13,67	32,05	32,26	45,87	46,00
Deformación (d_v)							
Deformación <5%	%	0,42%	0,43%	0,99%	1,02%	1,43%	1,45%
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. Válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular - 2α: 60° - Sin tráfico - G3: Medianamente cohesivo							
		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 (q_s)	kN/m ²	15,81	15,98	39,78	40,01	58,32	58,55		
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	15,81	15,98	39,78	40,01	58,32	58,55		
Presiones laterales									
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	15,71	15,96	38,96	39,28	56,89	57,20		
Deformación (d_v)									
Deformación <5%	%	0,69%	0,70%	1,71%	1,73%	2,50%	2,51%		
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. Válida			

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular - 2α: 60° - Sin tráfico - G4: Cohesivo							
		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 (q_s)	kN/m ²	15,63	15,84	40,08	40,38	59,77	60,07		
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	15,63	15,84	40,08	40,38	59,77	60,07		
Presiones laterales									
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	17,31	17,57	44,02	44,38	65,49	65,85		
Deformación (d_v)									
Deformación <5%	%	0,91%	0,92%	2,31%	2,33%	3,44%	3,46%		
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. Válida			



PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular - 2α: 90° - Sin tráfico - G1: No cohesivo							
		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 (q_v)	kN/m ²	15,39	15,53	36,96	37,13	52,59	52,75		
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	15,39	15,53	36,96	37,13	52,59	52,75		
Presiones laterales									
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	10,91	11,13	25,31	25,58	36,69	35,94		
Deformación (d_v)									
Deformación <5%	%	0,19%	0,19%	0,44%	0,44%	0,62%	0,62%		
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. Válida			

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular - 2α: 90° - Sin tráfico - G2: Poco cohesivo							
		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 (q_v)	kN/m ²	15,87	16,02	39,13	39,32	54,49	56,67		
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	15,87	16,02	39,13	39,32	54,49	56,67		
Presiones laterales									
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	13,29	13,49	32,06	32,33	46,03	46,29		
Deformación (d_v)									
Deformación <5%	%	0,37%	0,37%	0,90%	0,90%	1,28%	1,29%		
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. Válida			

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular - 2α: 90° - Sin tráfico - G3: Medianamente cohesivo							
		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 (q_v)	kN/m ²	16,27	16,42	41,19	41,39	60,47	60,67		
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	16,27	16,42	41,19	41,39	60,47	60,67		
Presiones laterales									
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	15,25	15,44	38,15	38,40	55,83	56,08		
Deformación (d_v)									
Deformación <5%	%	0,61%	0,62%	1,54%	1,55%	2,26%	2,27%		
Coefficiente seguridad rotura									
Coef. Seguridad en clave (Coeficiente de rotura > 2,5)	-	9,55	9,39	8,28	6,14	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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. Válida			

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular - 2α: 90° - Sin tráfico - G4: Cohesivo							
		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 (q_v)	kN/m ²	16,13	16,32	41,65	41,91	62,21	62,48		
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	16,13	16,32	41,65	41,91	62,21	62,48		
Presiones laterales									
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	16,74	16,96	42,93	43,22	64,00	64,30		
Deformación (d_v)									
Deformación <5%	%	0,81%	0,83%	2,10%	2,11%	3,13%	3,14%		
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. Válida			



PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular - 2 α : 120° - Sin tráfico - G1: No cohesivo							
		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 (q_v)	kN/m ²	16,24	16,37	40,22	40,38	58,12	58,28		
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	16,24	16,37	40,22	40,38	58,12	58,28		
Presiones laterales									
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	12,88	13,05	31,34	31,56	45,08	45,29		
Deformación (d_v)									
Deformación <5%	%	0,33%	0,34%	0,82%	0,82%	1,18%	1,18%		
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. Válida			

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular - 2 α : 120° - Sin tráfico - G2: Poco cohesivo							
		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 (q_v)	kN/m ²	16,24	16,37	40,22	40,38	58,12	58,28		
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	16,24	16,37	40,22	40,38	58,12	58,28		
Presiones laterales									
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	12,88	13,05	31,34	31,56	45,08	45,29		
Deformación (d_v)									
Deformación <5%	%	0,33%	0,34%	0,82%	0,82%	1,18%	1,18%		
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. Válida			

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular - 2α: 120° - Sin tráfico - G3: Medianamente cohesivo							
		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 (q_v)	kN/m ²	16,60	16,73	42,21	42,39	62,03	62,21		
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	16,60	16,73	42,21	42,39	62,03	62,21		
Presiones laterales									
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	14,62	14,78	36,80	37,01	53,94	54,14		
Deformación (d_v)									
Deformación <5%	%	0,56%	0,57%	1,42%	1,43%	2,09%	2,09%		
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. Válida			

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular - 2α: 120° - Sin tráfico - G4: Cohesivo							
		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 (q_v)	kN/m ²	16,50	16,67	42,81	43,04	64,02	64,26		
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	16,50	16,67	42,81	43,04	64,02	64,26		
Presiones laterales									
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	16,02	16,20	41,33	41,57	61,71	61,95		
Deformación (d_v)									
Deformación <5%	%	0,75%	0,76%	1,94%	1,95%	2,90%	2,91%		
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. Válida			



PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular - 2 α : 120° - 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
Presiones verticales							
Debida a las tierras (q_v)	kN/m ²	16,50	16,66	42,81	43,04	64,02	64,26
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	24,10	23,83	5,27	5,27	2,86	2,85
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	40,60	40,49	48,08	48,31	66,88	67,11
Presiones laterales							
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	16,02	16,20	41,33	41,57	61,71	61,95
Deformación (d_v)							
Deformación <5%	%	2,00%	2,00%	2,22%	2,23%	3,05%	3,06%
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. Válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular - 2 α : 120° - 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
Presiones verticales							
Debida a las tierras (q_v)	kN/m ²	16,50	16,69	42,81	43,04	64,02	64,26
Debida a sobrecargas concentradas (P_{vc})	kN/m ²	54,77	54,24	19,44	19,43	10,17	10,17
Debida a sobrecargas repartidas (P_{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (q_{vt})	kN/m ²	71,27	70,93	62,25	62,47	74,19	74,43
Presiones laterales							
Presión lateral de las tierras (q_{ht})	kN/m ²	16,02	16,20	41,33	41,57	61,71	61,95
Deformación (d_v)							
Deformación <5%	%	3,59%	3,57%	2,95%	2,96%	3,43%	3,44%
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. Válida	

PVC-O PN16		Apoyo Tipo A: cama continua de material granular - 2α: 120° - Con tráfico ligero - Vehículo de 3 ejes, Carga 60 TN Pavimentado - h1 aglomerado Ef= 20000 N/mm ² - Capa de 10 cm; h2 Zahorra Ef= 15000 N/mm ² - Capa de 15 cm - 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 (q _v)	kN/m ²	16,50	16,66	42,81	43,04	64,03	64,26
Debida a sobrecargas concentradas (P _{vc})	kN/m ²	15,41	15,41	8,37	8,37	5,07	5,07
Debida a sobrecargas repartidas (P _{vr})	kN/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión vertical total (q _{vt})	kN/m ²	31,91	32,07	51,18	51,41	69,10	69,33
Presiones laterales							
Presión lateral de las tierras (q _{ht})	kN/m ²	16,02	16,20	41,33	41,57	61,71	61,95
Deformación (d_v)							
Deformación <5%	%	1,55%	1,56%	2,38%	2,39%	3,17%	3,18%
Coefficiente 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	-	Int. Válida		Int. Válida		Int. 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)	+	+	√√√

2.4. 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 120° y 180°. Las uniones de los tubos y las piezas especiales (codos, tes, 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:

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

Donde:

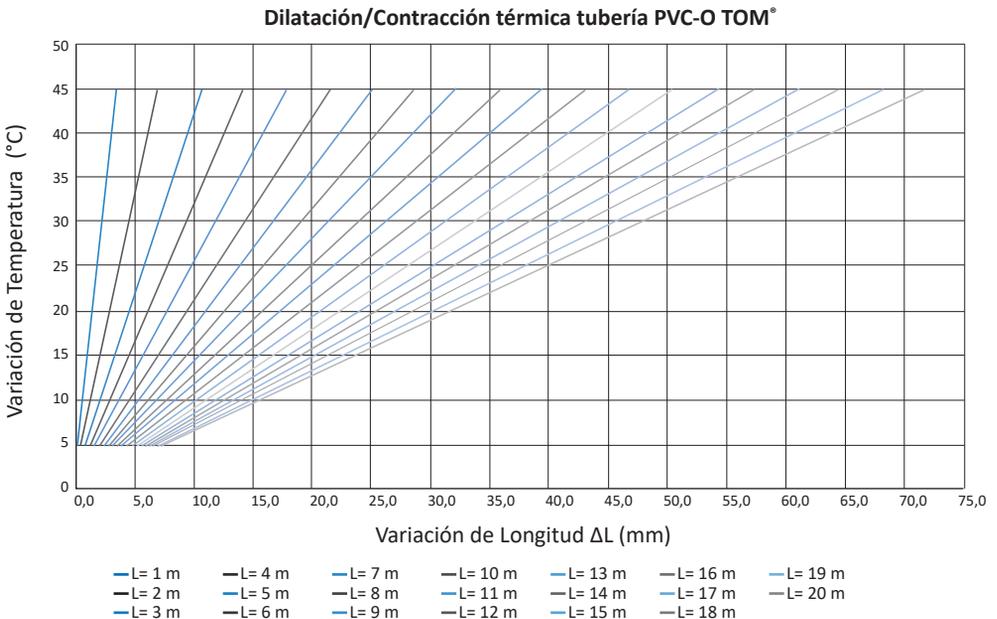
ΔL : variación en longitud, en mm

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

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

Recomendado

Membraba
compresible

Apretado
manualmente
con ½
de vuelta

Membraba
compresible

Apretado manualmente con ½ vuelta. Si el movimiento es para ser acomodado, se omite la membrana y se deja un pequeño hueco entre tubo y soporte.

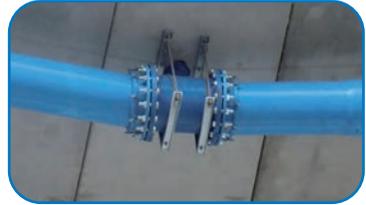
Soportes no recomendados

Barra roscada
demasiado
apretada
sin membrana

Tubo sobre travieso atado
a la cubierta



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



Instalación aérea de Tubería de PVC-O TOM®

La resistencia a los rayos ultravioletas de las **tuberías TOM® de PVC-O** se estudiarán en el apartado 4. "*Propiedades químicas*".

3. Trazado y perfil de la red

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-U o 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. Por definición es un accesorio que se instala entre dos tubos de igual o diferente diámetro y 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 carbono (fundición) para codos y tes, utilizados principalmente para grandes diámetros.

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 (mm)	Desviación angular máxima Ángulo (°)	Desplazamiento entre copas D (mm) ⁽¹⁾
90-1200	2°	200

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

Desviación angular referida en la norma ISO 13845 (véase Anexo "Normativa y Referencias bibliográficas"). Las uniones de la tubería pueden ser sometidas a mayores desviaciones angulares si son sometidas a esfuerzos altos. No se recomienda superar esos límites para no comprometer los coeficientes de seguridad de dichas uniones sometidas a presión.

Desviación angular
Tubería de
PVC-O TOM®





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 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 mm) y sin dañar la geometría de los enchufes.

\emptyset = Diámetro exterior, OD

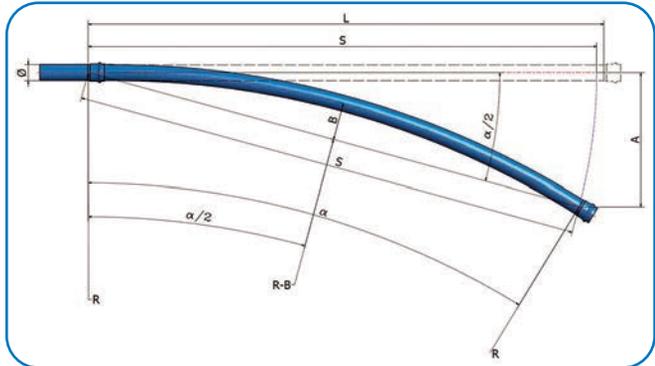
$$R = 200\emptyset$$

$$\alpha^\circ = \frac{180L}{\pi R}$$

$$S = 2R \cdot \sin \frac{\alpha^\circ}{2}$$

$$A = S \cdot \sin \frac{\alpha^\circ}{2}$$

$$B = R - R \cdot \cos \frac{\alpha^\circ}{2}$$



DN mm	Curvatura del Tubo				Desviación angular de la copa	Curvatura + Desviación Angular (Ángulo Total)		
	L m	R m	$\alpha/2$ grados	A m	Ángulo grados	R' m	$\alpha'/2$ grados	A 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
125	5,77	25	6,6	0,66	2	19	8,6	0,86
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
710	5,45	142	1,1	0,10	2	50	3,1	0,29
800	5,42	160	1,0	0,09	2	52	3,0	0,28
900	5,39	180	0,9	0,08	2	54	2,9	0,27
1000	5,39	200	0,8	0,07	2	56	2,8	0,26
1100	5,36	220	0,7	0,07	2	57	2,7	0,25
1200	5,33	240	0,6	0,06	2	58	2,6	0,24

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 apoyar con anclajes (ver apartado 2.2.1 "Anclajes de hormigón" página 92).

Esfuerzos en el tubo curvado ($\alpha/2$) ⁽²⁾						
DN mm	Bar					
	1 kN	5 kN	10 kN	15 kN	20 kN	25 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
125	0,14	0,71	1,42	2,12	2,83	3,54
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
710	0,76	3,80	7,60	11,40	15,20	18,99
800	0,85	4,26	8,51	12,77	17,03	21,28
900	0,95	4,76	9,52	14,29	19,05	23,81
1000	1,06	5,29	10,57	15,86	21,15	26,43
1100	1,16	5,79	11,58	17,37	23,15	28,94
1200	1,25	6,27	12,55	18,82	25,09	31,37

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

Caso práctico

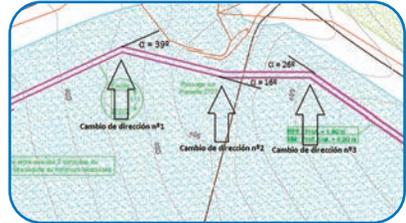
Dados los siguientes trazados de una red de distribución de agua potable, proyectada con **tubería PVC-O TOM®** en DN250 y DN110 PN16, indicar el número y tipos de codos que habría que utilizar.



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

Solución:

- Cambio de dirección nº 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 nº 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 nº 3 ($\alpha = 26^\circ$):
1 Codo $22,5^\circ +$ Curvatura y desviación total de un tubo DN250 **PVC-O TOM®** ($5,3^\circ$) = $27,80^\circ \sim 26^\circ$.

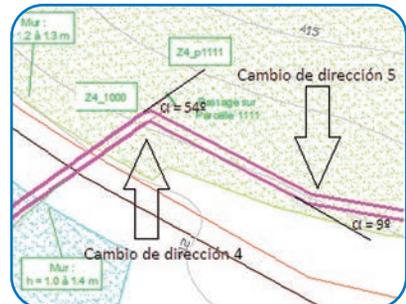


Trazado de red con Tubería de PVC-O TOM®

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

Solución:

- Cambio de dirección nº 4 ($\alpha = 54^\circ$):
1 Codo $45^\circ +$ Curvatura y desviación total de un tubo DN110 **PVC-O TOM®** ($9,5^\circ$) = $54,50^\circ \sim 54^\circ$.
- Cambio de dirección nº 5 ($\alpha = 9^\circ$):
No hace falta ningún codo. Curvatura y desviación total de un tubo DN110 **PVC-O TOM®** ($9,5^\circ$) = $9,50^\circ \sim 9^\circ$.



Trazado de red con Tubería de PVC-O TOM®



Desviación angular Tubería de PVC-O TOM®



3

Recomendaciones de utilización





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:

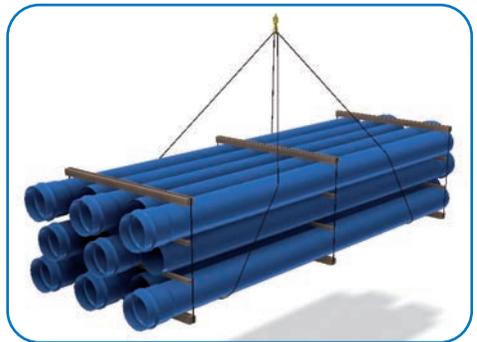
- Si se van a transportar diferentes diámetros en un mismo envío, colocar primero los diámetros mayores en la parte baja. Se utilizarán cunas de madera, cuyas características variarán en función del diámetro nominal de la tubería.
- Dejar libres las copas, alternando copas y cabos.
- Durante la recepción de los tubos habrá que controlar el estado de los mismos. Las características de embalaje de las **tuberías TOM® de PCV-O** pueden consultarse en el apartado 1 “*Gama de productos*” página 140.



Acopio de Tubería de PVC-O TOM® para transporte

• 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 \geq DN250 mm se realizará mediante equipos mecánicos y para diámetros inferiores a DN250 mm por medios manuales.



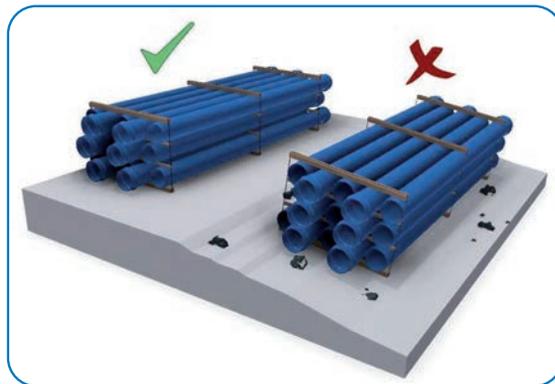
Manipulación de Tubería de PVC-O TOM®

• 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.

- Evitar especialmente que las copas se puedan erosionar con el suelo, en concreto si estos fuesen de piedra, hormigonados o asfaltados.
- No apilar a más de 1,5 metros de altura, ya que se podrían dañar los tubos de la parte inferior, o incluso podrían producirse caídas de los tubos superiores.
- Las copas deben quedar libres, intercalando copas y cabos.
- En caso de exposición prolongada al sol proteger los palés con un material opaco, si es posible de color blanco, para evitar que la tubería se sobrecaliente.
- Evitar tapar los tubos con lonas negras sin ventilación, evitando fuentes de calor que actúen próximas y de forma permanente sobre las tuberías, y el contacto con materiales metálicos que puedan transmitir un exceso de temperatura a las tuberías a través de su propia conductividad.



Almacenamiento de Tubería de PVC-O TOM®

2. Instalación

• Excavación

Todas las piedras que se encuentren en la pared de la excavación deberán de ser retiradas puesto que éstas podrían caer sobre la cama de arena (ver imágenes de 1 a 4).

Se deberá 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 se menciona en el apartado 2.3.1. "Dimensionamiento de zanjas" página 104 .





Cabría 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 tener la excavación, está igualmente indicada en el apartado 2.3.1. “Dimensionamiento de zanjas” página 104 (ver imágenes 1 y 2).

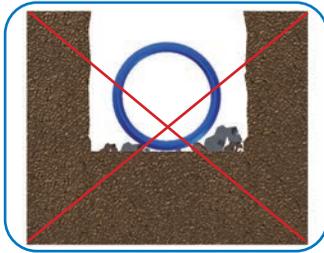


Imagen 1



Imagen 2

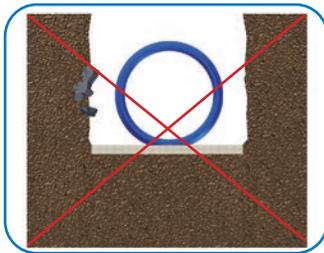


Imagen 3

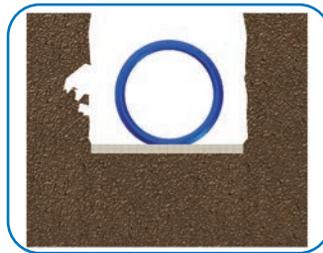


Imagen 4

• Embalaje

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 para localizar el límite de conexión.

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

- Retirar los tapones de protección.
- Verificar que el tubo está limpio y en correcto estado prestando atención tanto a las copas como a los cabos.
- Revisar que el bisel esté en perfecto estado y libre de roturas.
- Comprobar que la junta está bien colocada, limpia y exenta de elementos extraños (piedras, arena, etc.).
- Lubricar el bisel del cabo y la junta de la copa mediante lubricante para juntas.

Número de uniones por kg de lubricante:

Diámetro Nominal (DN)	Uniones
90	87
110	76
125	65
140	54
160	46
200	34
225	32
250	30
315	25
355	21

Diámetro Nominal (DN)	Uniones
400	17
450	16
500	14
630	12
710	11
800	9
900	8
1000	7
1100	7
1200	6

- Alinear la tubería lo máximo posible tanto en horizontal como en vertical.
- Introducir solamente el canto del bisel en la copa de tal forma que soporte el tubo pero dejando el resto de copa libre.
- En el caso de tuberías con diámetro nominal ≤ 250 mm dar un empujón firme y seco desde el otro extremo del tubo para aprovechar la inercia producida por el desplazamiento y así, introducir el cabo hasta que la marca tope de enchufe quede escondida dentro de la copa.
- Cuando se trate de grandes diámetros >250 mm, será necesaria la ayuda de medios mecánicos para la introducción del tubo utilizando materiales como la madera, tráctel o eslinga (ver imágenes 5 y 6).



Imagen 5



Imagen 6



Instalación
Tubería de PVC-O
TOM®



3. Pruebas en obra y puesta en servicio

En todo lo relativo a la instalación, pruebas en obra y puesta en servicio, se tienen que seguir los procedimientos de la norma UNE-EN 805 “Abastecimiento de agua” (véase Anexo “Normativa y Referencias bibliográficas”), y/o al organismo competente. A medida que se vaya ejecutando el montaje se debe ir probando la tubería instalada en tramos completamente ejecutados. Se recomienda la realización de la prueba para longitudes de 500 metros, pudiendo variar dependiendo de la normativa vigente o de las directrices de la dirección de obra. 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:

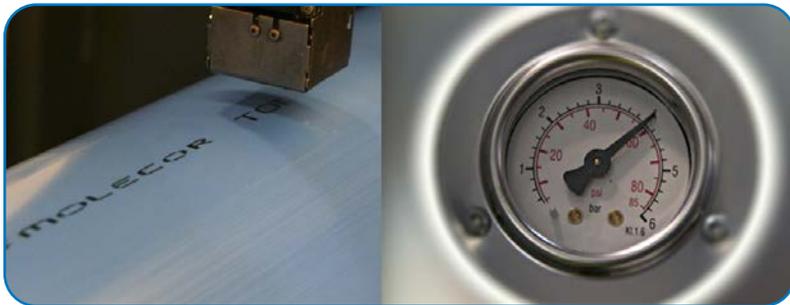
$$\text{STP} = \text{MDP} + 0,1$$

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 la legislación vigente, en lo relativo a limpieza y desinfección.



Resistencia hidrostática



4

Gama y características de la tubería de PVC Orientado TOM®





1 Gama de productos

• Dimensiones

TOM® PVC-O Clase 500										
Diámetro Nominal (DN)	Diámetro Exterior (DE)		PN12,5		PN16		PN20		PN25	
			Diámetro Interior (DI)	Espesor Nominal (e)						
	min.	max.	medio	min.	medio	min.	medio	min.	medio	min.
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
90	90,0	90,3	84,8	1,6	84,3	2,0	84,3	2,5	83,0	3,1
110	110,0	110,4	103,6	2,0	103,1	2,4	103,0	3,1	100,8	3,8
125	125,0	125,4	117,8	2,2	117,8	2,8	117,1	3,5	114,5	4,3
140	140,0	140,5	132,3	2,5	132,3	3,1	131,1	3,9	129,1	4,8
160	160,0	160,5	152,1	2,8	151,2	3,5	149,8	4,4	146,6	5,5
200	200,0	200,6	190,1	3,5	189,0	4,4	187,3	5,5	183,3	6,9
225	225,0	225,7	213,9	4,0	212,6	5,0	210,7	6,2	207,5	7,7
250	250,0	250,8	237,6	4,4	236,3	5,5	234,1	6,9	229,1	8,6
315	315,0	316,0	299,4	5,5	297,7	6,9	295,0	8,7	288,6	10,8
355	355,0	356,1	337,4	6,2	335,5	7,8	332,5	9,8	325,3	12,2
400	400,0	401,2	380,2	7,0	378,0	8,8	374,6	11,0	366,5	13,7
450	450,0	451,4	427,7	7,9	425,3	9,9	421,4	12,4	412,3	15,4
500	500,0	501,5	475,2	8,8	472,5	11,0	468,2	13,7	458,1	17,1
630	630,0	631,9	598,8	11,0	595,4	13,8	590,0	17,3	581,0	21,6
710	710,0	712,0	674,8	12,4	671,0	15,4	664,9	19,2	654,7	24,4
800	800,0	802,0	760,4	14,0	756,1	17,4	749,2	21,6	733,0	27,4
900	900,0	902,7	855,4	15,7	850,6	19,6	839,5	24,3	824,1	30,9
1000	1000,0	1003,0	950,5	17,5	945,1	21,7	932,8	27,0	915,6	34,3
1100 ⁽¹⁾	1100,0	1103,3	1045,5	-	1039,6	-	1026,1	-	1007,2	-
1200 ⁽¹⁾	1200,0	1203,6	1140,6	21,1	1134,1	26,2	1119,4	32,4	1098,8	41,4

Las tuberías de PVC-O TOM® se suministran en longitudes totales (incluyendo la longitud marcado tope) de 5,95 metros. Los diámetros interiores pueden estar sujetos a variación según tolerancias de fabricación.

(1) Artículos bajo pedido. Consulte plazo de entrega. Para otros diámetros y presiones nominales, consultar.

DN1100: No contemplado en las normas ISO 16422:2014 y EN 17176:2019.

DN1200: No contemplado en norma ISO 16422:2014, fabricado según especificaciones de norma EN 17176:2019.

• Embalaje

TOM® PVC-O Clase 500											
Diámetro Nominal (DN)	Tubos/ Palet	Palet/ Camión	Tubos/ Camión	Metros ⁽¹⁾ / Camión	Anchura Palet	Altura Palet	Longitud Palet	kg/ Palet			
								PN12,5	PN16	PN20	PN25
mm	tubos	palet	tubos	m	mm	mm	mm	kg	kg	kg	kg
90	81	16	1296	7711	1220	670	6110	515	555	560	675
110	76	12	912	5426	1220	850	6130	715	775	775	1005
125	60	12	720	4284	1220	850	6135	725	725	790	1025
140	45	12	540	3213	1220	850	6140	650	650	745	905
160	33	12	396	2356	1220	800	6150	570	625	715	925
200	23	12	276	1642	1170	950	6395	615	680	780	1005
225	14	16	224	1333	1220	700	6190	480	525	605	730
250	11	12	132	785	1100	800	6215	465	510	585	755
315	13	8	104	619	2200	700	6260	860	950	1090	1410
355	11	6	66	393	2200	800	6295	925	1020	1165	1510
400	11	6	66	393	2400	850	6325	1165	1285	1475	1910
450	5	10	50	298	2200	550	6330	685	755	860	1110
500	4	8	32	190	1950	600	6335	675	740	850	1095
630	3	6	18	107	1950	730	6410	795	875	1005	1215
710	3	6	18	107	2200	810	6425	1005	1105	1270	1535
800	3	6	18	107	2400	900	6425	1270	1400	1605	2080
900	2	4	8	48	1800	1000	6480	1070	1180	1425	1765
1000	2	4	8	48	2000	1100	6515	1315	1450	1755	2175
1100	2	4	8	48	2200	1250	6540	1585	1750	2120	2630
1200	2	4	8	48	2400	1350	6575	1885	2080	2520	3125

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

Certificado AENOR de Producto

nº 001/007104 conforme con UNE-EN 17176-1:2019. Marca 

nº 001/006537 conforme con ISO 16422:2014. Marca 

Gama Tubería de PVC-O TOM®





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: $[\text{CH}_2 = \text{CHCl}]_n$

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 "Tubería de PVC Orientado TOM®" página 1).

En el mercado existen una gran variedad de resinas que presentan distintas propiedades según su 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 o combinaciones de estearatos de Ca y Zn atóxicos entre 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 costes, 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 apartado 4 “*Propiedades químicas*” página 145).

• 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 “*Tubería de PVC Orientado TOM®*” página 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.

3. Propiedades mecánicas

Características mecánicas de la tubería	TOM® PVC-O Clase 500			
	12,5	16	20	25
Clase de material			500	
Resistencia mínima requerida MRS (MPa)			50	
Coefficiente global de servicio (C)			1,4	
Esfuerzo de diseño (MPa)			36	
Presión mínima de rotura a 50 años (bar) ⁽¹⁾	17,5	22,4	28,0	35,0
Presión mínima de rotura a 10 horas (bar) ⁽¹⁾	23,1	28,9	36,7	48,1
Presión mínima de rotura a reventamiento (bar) ⁽¹⁾	32,0	38,0	48,0	60,0
Presión de prueba máxima en obra (bar) ⁽²⁾	17,5	21,0	25,0	30,0
Rigidez Circunferencial (kN/m ²) ⁽³⁾	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	
Resistencia a tracción uniaxial (MPa)			≥ 48	
Resistencia a tracción tangencial (MPa)			> 85	

(1) A la temperatura de 20 °C.

(2) Según norma UNE-EN 805:2000 con golpe de ariete estimado.

(3) Rigidez media en el tubo según tolerancias establecidas.

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 4 "*Propiedades químicas*" página 145). También presenta una muy buena resistencia a componentes presentes en el medio natural como agua salada, ozono, humedad, etc.

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 red 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 resistencia 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 resistencia 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, etc.), 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 producida por los rayos ultravioletas, se transmita hacia el interior del tubo.

En términos prácticos, las propiedades de las 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 añade 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 (ver apartado “Almacenamiento” página 134), 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.

**PVC-O: material
inerte químicamente
frente a todos los
materiales presentes en
la naturaleza.
¡Descubre más aquí!**



5. Otras propiedades

Otras características del material	Unidades	Valor
Densidad	Kg/dm ³	1,35 - 1,46 ⁽¹⁾
Valor k resina de PVC	-	> 64
Dureza Shore D a 20 °C	-	81 – 85
Coefficiente de Poisson	-	0,4
Temperatura Vicat	°C	≥ 80
Coefficiente de dilatación lineal	°C ⁻¹	7·10 ⁻⁵
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

(1) Aunque la norma permite todo este rango, la tubería de PVC-O TOM® se define en un rango concreto de 1,37 a 1,43 kg/dm³.

(2) Según norma EN 17176.

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

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 apartado 2.2.1. “Anclajes de hormigón” página 92), 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 utilizados, existiendo una amplia gama de este tipo de accesorios en el mercado; codos, tes, reducciones, manguitos de unión, etc. Se pueden encontrar con dos tipos de sistemas de unión:

- **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-acesorio funcione a tracción. Normalmente llevan un aro metálico dentado que se fija al tubo para evitar su deslizamiento en sentido longitudinal.



Accesorios con sistema autoblocante

- **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 tales como codos, tes, collarines de toma,...



Accesorios de fundición dúctil con sistema brida

• **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 ejecutar, siendo especialmente útiles en nudos donde los ángulos de las conexiones no corresponden con los estándares del mercado.



Accesorios de acero

• **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.



Accesorios universales



Accesorios multidímetro

• **Multidímetro:**

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.



Ejemplo de instalación no 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 las **tuberías TOM®**.



- **PVC Orientado:**

ecoFITTOM®, los primeros **accesorios de PVC-O** del mundo, desarrollados por **Molecor** presentan excelentes mejoras en las propiedades mecánicas del PVC. Estas mejoras permiten fabricar los **accesorios ecoFITTOM®** consumiendo menos cantidad de materia prima y energía, y obteniendo al mismo tiempo, un producto con mayor resistencia hidrostática y una mayor resistencia al impacto que los accesorios de otros materiales. Además de esto, los **accesorios ecoFITTOM®** presentan un excelente comportamiento frente al golpe de ariete, estanqueidad completa y máxima resistencia química y flexibilidad.

Con **ecoFITTOM® Molecor** ofrece un sistema continuo y uniforme en **PVC-O**; esta continuidad del material garantiza las mismas propiedades hidráulicas y mecánicas en los diferentes elementos de la red, en las **tuberías** al igual que en los **accesorios**.

Este hecho, garantiza, al mismo tiempo, una total calidad del agua transportada.

Estos accesorios pueden utilizarse en redes para el transporte de agua potable, sistemas de riego, aplicaciones industriales, agua regenerada, redes contra incendios, etc. entre otras aplicaciones.

 **ECO FITTOM**

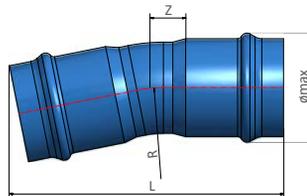
Descubre lo último sobre
los accesorios de PVC-O
ecoFITTOM® aquí



Certificado AENOR de Producto nº 001/007103 conforme con UNE-CEN/TS 17176-3:2019. Marca 

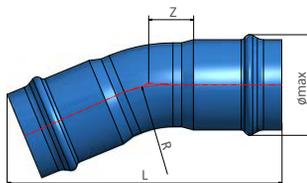
Codo 11,25° EE

DN	PN	Referencia	ømax	L (mm)	Z (mm)	Radio (mm)	Peso (Kg)
110	10/16	F110C1116B	140	460	50	165	0,89
125*	10/16	F125C1116B	155	500	55	187,5	1,27
140*	10/16	F140C1116B	175	530	60	210	1,68
160	10/16	F160C1116B	200	540	65	240	2,11
200	10/16	F200C1116B	245	600	75	300	3,81
225	10/16	F225C1116B	270	645	85	340	5,38
250	10/16	F250C1116B	305	695	90	375	6,72
315	10/16	F315C1116B	375	815	110	475	12,50
400	10/16	F400C1116B	475	940	135	600	23,20



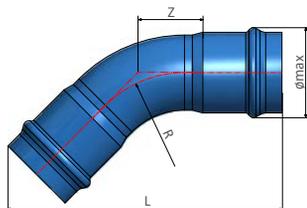
Codo 22,5° EE

DN	PN	Referencia	ømax	L (mm)	Z (mm)	Radio (mm)	Peso (Kg)
110	10/16	F110C2216B	140	490	65	165	0,96
125*	10/16	F125C2216B	155	535	75	187,5	1,37
140*	10/16	F140C2216B	175	565	80	210	1,81
160	10/16	F160C2216B	200	585	90	240	2,37
200	10/16	F200C2216B	245	660	105	300	4,20
225	10/16	F225C2216B	270	710	120	340	5,94
250	10/16	F250C2216B	305	770	130	375	7,49
315	10/16	F315C2216B	375	915	155	475	14,04
400	10/16	F400C2216B	475	1070	195	600	26,35



Codo 45° EE

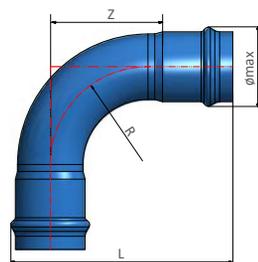
DN	PN	Referencia	ømax	L (mm)	Z (mm)	Radio (mm)	Peso (Kg)
110	10/16	F110C4516B	140	600	145	300	1,30
125*	10/16	F125C4516B	155	570	115	187,5	1,56
140*	10/16	F140C4516B	175	605	130	210	2,08
160	10/16	F160C4516B	200	640	140	240	2,71
200	10/16	F200C4516B	245	735	170	300	4,99
225	10/16	F225C4516B	270	840	195	340	7,06
250	10/16	F250C4516B	305	875	210	375	9,03
315	10/16	F315C4516B	375	940	140	300	14,87
400	10/16	F400C4516B	475	1250	330	600	32,64



* Disponible bajo petición

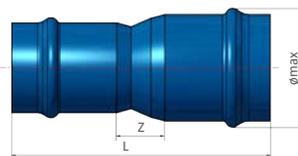
Codo 90° EE

DN	PN	Referencia	ømax	L (mm)	Z (mm)	Radio (mm)	Peso (Kg)
110	10/16	F110C9016B	143	450	200	165	1,35
125*	10/16	F125C9016B	155	490	225	187,5	1,94
140*	10/16	F140C9016B	175	535	250	210	2,62
160	10/16	F160C9016B	198	565	275	240	3,52
200	10/16	F200C9016B	244	680	345	300	6,56
225	10/16	F225C9016B	270	750	370	340	9,30
250	10/16	F250C9016B	305	800	430	375	12,10
315	10/16	F315C9016B	375	850	380	315	19,16
400*	10/16	F400C9016B	472	900	375	300	32,64



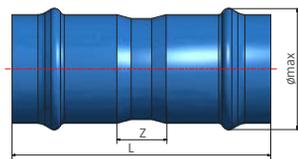
Reducción EE

DN/DN	PN	Referencia	ømax	L (mm)	Z (mm)	Peso (Kg)
110 / 90	10/16	F110R09016B	140	385	55	0,78
125 / 110	10/16	F125R11016B	155	450	80	1,17
140 / 110	10/16	F140R11016B	175	465	90	1,54
160 / 110	10/16	F160R11016B	200	480	105	1,95
160 / 140	10/16	F160R14016B	200	455	60	1,78
200 / 160	10/16	F200R16016B	245	525	100	3,33
225 / 160	10/16	F225R16016B	270	585	195	4,98
225 / 200	10/16	F225R20016B	270	510	80	4,31
250 / 200	10/16	F250R20016B	305	585	120	5,95
315 / 250	10/16	F315R25016B	375	690	155	11,05
400 / 315	10/16	F400R31516B	475	790	155	19,39



Manguito

DN	PN	Referencia	ømax	L (mm)	Z (mm)	Peso (Kg)
110	10/16	F110M16B	140	420	70	0,83
125*	10/16	F125M16B	155	455	75	1,17
140*	10/16	F140M16B	175	465	80	1,54
160	10/16	F160M16B	200	490	85	1,91
200	10/16	F200M16B	245	530	95	3,41
225	10/16	F225M16B	270	580	115	4,87
250	10/16	F250M16B	305	620	120	6,06
315	10/16	F315M16B	375	715	145	11,34
400	10/16	F400M16B	475	820	190	21,12

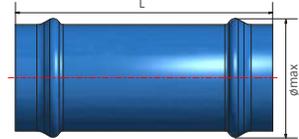


* Disponible bajo petición

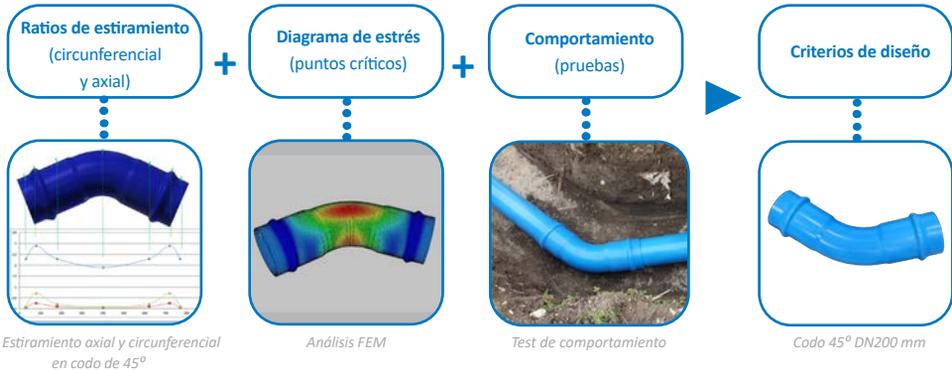


Manguito Pasante

DN	PN	Referencia	∅max	L (mm)	Z (mm)	Peso (Kg)
110	10/16	F110MR16B	140	420	-	0,83
125*	10/16	F125MR16B	155	455	-	1,17
140*	10/16	F140MR16B	175	465	-	1,54
160	10/16	F160MR16B	200	490	-	1,91
200	10/16	F200MR16B	245	530	-	3,41
225	10/16	F225MR16B	270	580	-	4,87
250	10/16	F250MR16B	305	620	-	6,06
315	10/16	F315MR16B	375	715	-	11,34
400	10/16	F400MR16B	475	820	-	21,12



Proceso para obtener los accesorios de PVC-O



Estiramiento axial y circunferencial en codo de 45°

Análisis FEM

Test de comportamiento

Codo 45° DN200 mm

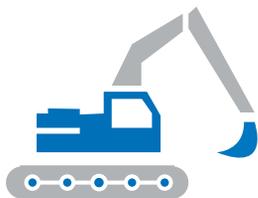


* Disponible bajo petición





Ventajas **ecoFITTOM**



Ventajas en instalación

- Material ligero.
- Fácil de conectar.
- Mayor rendimiento de instalación.
- Es más sencillo adaptar bloques de hormigón cuando sea necesario su uso.



Ventajas durante el uso

- Estanqueidad total.
- Menos roturas y menos fugas.
- Inmunes a los ataques de micro y macro organismos.
- Inmunes a cualquier % de cloro.
- Menor pérdida de carga en codos



Ventajas para los usuarios

- No hay corrosión biológica, el agua permanece inalterada en todo momento.
- No hay corrosión externa que se pueda producir por elementos presentes en el suelo.
- Total calidad del agua.



¿Te gustaría saber más?

Descubre más información sobre **ecoFITTOM®** aquí



TOM®

**Tuberías de PVC-O de la máxima calidad.
Producto garantizado 50 años**

Mayor
rendimiento
de instalación

Máxima
resistencia
a impactos

Mayor
capacidad
hidráulica

Desde
DN90 hasta
DN1200

La solución
más eficiente
y sostenible



Estanqueidad
completa

La mejor
alternativa para
el transporte de
agua a presión

Propiedades
físicas y
mecánicas
inmejorables

Desde
PN12,5 hasta
PN25 bar

Larga
vida útil

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 Gestión Integrado** (Calidad, Medio Ambiente y Prevención) basado en la norma **UNE-EN ISO 9001:2015** (véase Anexo “*Normativa y Referencias bibliográficas*”) desde el inicio de su actividad productiva, certificado por AENOR, estando avalado por el correspondiente certificado **ISO 9001:2015** y su equivalente internacional, certificado IQNet.

Desde su fundación en el año 2006, ha perseguido un objetivo clave e imprescindible: desarrollar soluciones cada vez más eficientes e innovadores para poner a disposición del mercado productos de la máxima calidad.



Siguiendo esta idea año tras año, **las tuberías TOM® y los accesorios ecoFITMOM®** de PVC Orientado (PVC-O), se han convertido en la actualidad en la solución más eficiente y comprometida con el medioambiente para el transporte de agua a presión.

De esta forma, la compañía pone a disposición del mercado un sistema continuo y uniforme en **PVC Orientado** en el que todos los elementos cuentan con las mismas propiedades físico-mecánicas convirtiéndose en una ventajosa alternativa frente a otros materiales.

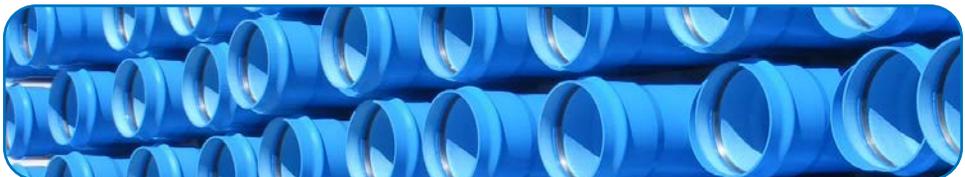
Las **tuberías TOM® de PVC-O** fabricadas en la sede de **Loeches**, Madrid, de **Molecor**, producto de la máxima calidad, se han convertido en la mejor alternativa para el transporte de agua a presión, siendo además, un producto garantizado durante 50 años gracias a sus excelentes propiedades físico-mecánicas y a su elevada durabilidad.



Los principios de respeto al medioambiente y prevención de la contaminación están incluidos en su política de calidad y medioambiente e implantados dentro del Sistema de Gestión Integrado de **Molecor**, estando avalados por la obtención del Certificado de Gestión Ambiental según la norma **UNE-EN ISO 14001:2015** (véase Anexo “*Normativa y Referencias bibliográficas*”) por parte de la Asociación Española de Normalización (AENOR).

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-EN 17176:2019 Sistemas de canalización en materiales plásticos para suministro de agua, riego, saneamiento y alcantarillado, enterrado o aéreo, con presión. Poli(cloruro de vinilo) no plastificado orientado (PVC-O)
Internacional	Marca 	AENOR	ISO 16422:2014 Pipes and joints made of oriented unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-O) for the conveyance of water under pressure
Sudáfrica	Marca 	AENOR	SANS 16422:2016 Pipes and joints made of oriented unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-O) conveyance of water under pressure - Specifications
Francia	Marca 	AFNOR - CSTB	NF T 54-948:2010 Tubes en poly(chlorure de vinyle) orienté biaxial (PVC-BO) et leurs assemblages. Spécifications
Méjico	Marca 	CERTIMEX	NOM-001-CONAGUA-2011 Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario- Hermeticidad- Especificaciones y métodos de prueba



Tuberías de PVC-O TOM®

Certificado AENOR de producto. Marca N



Certificado AFNOR de producto. Marca NF



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.

El **Sistema Gestión Integrado 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, etc.) 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.

Además de esto, **Molecor** desarrolla su prestación de servicio con respeto al medio ambiente. 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.



Certificación de las tuberías de PVC-O TOM®

Respecto a la certificación sanitaria, la **tubería TOM® de PVC-O** cumple con los requerimientos del Real Decreto 140/2003 Criterios de calidad del agua de consumo humano y por tanto, es apta para uso con agua potable según la legislación española vigente. Su aptitud también está corroborada con la obtención de certificados sanitarios europeos, como son el ACS (Attestation de Conformité Sanitaire) - Francia, el Certificado Hydrocheck – Bélgica, y los Certificados WRAS (Water Regulations Advisory Scheme) y DWI (Drinking Water Inspectorate) - Reino Unido, emitidos por los correspondientes organismos y ministerios de sanidad tras un exhaustivo estudio de la formulación del producto y rigurosos ensayos sobre el material, que aseguran su perfecta aptitud para la conducción de agua destinada a consumo humano.

Conformidad con el RD 140/2003 (España)



Certificado Sanitario ACS (Francia)



TOM[®], la tubería de PVC-O con una vida útil de más de 100 años

El mayor rendimiento de instalación

Innovación constante y sostenible

Máxima resistencia a impactos

Propiedades físicas y mecánicas insuperables

Estanqueidad completa

Máxima calidad

De DN110 hasta DN400 mm en PN16 bar

Sistemas uniformes y continuos en PVC-O

Desde DN90 hasta DN1200 mm en PN12,5, 16, 20 y 25 bar

Material 100% reciclable

Codos de 11,25°, 22,5°, 45° y 90°

Soluciones completas para el transporte de agua a presión

Reducción

Manguito pasante

Manguito

TOM

5

Aptitud de uso



La gestión sostenible del agua es esencial para nuestras vidas, por lo que 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 resistencia química, que evita que se deterioren, la completa estanqueidad de sus uniones evita las pérdidas de agua por fugas.

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 (Reino Unido) entre otras.

Aquí puedes encontrar
todos los certificados
actualizados



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 en las redes de abastecimiento, principalmente hipoclorito sódico y dióxido de cloro.



Tuberías TOM®. Alta resistencia química

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.

2. Agua Residual

La resistencia a la abrasión del PVC es bastante superior a la que presentan otros materiales (ver apartado 4 “*Propiedades químicas*” página 145), 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.

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.

Podemos asimilar el agua regenerada al agua potable en cuanto a composición, 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.

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.

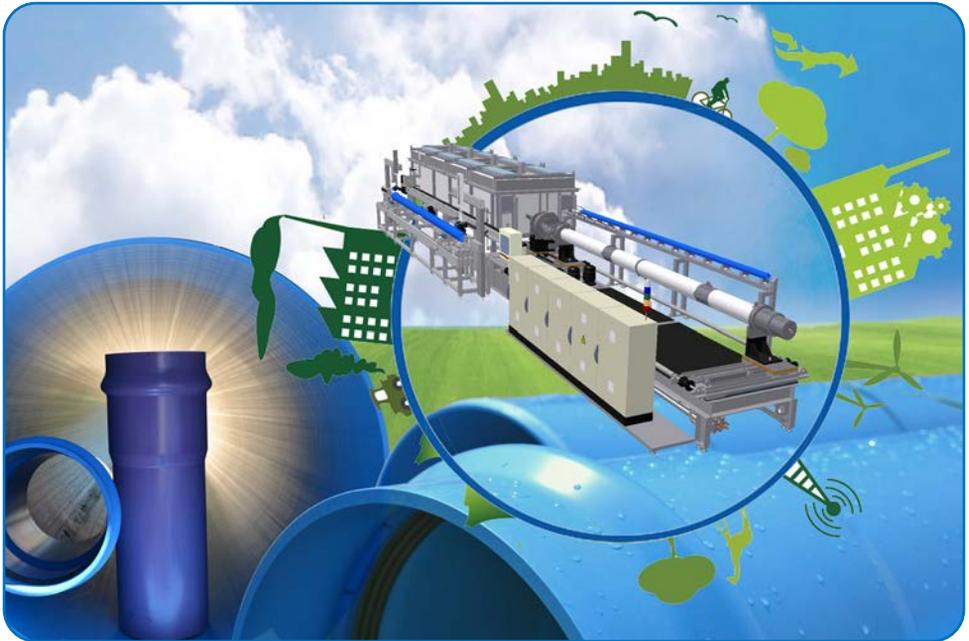


Tuberías TOM®. Aptas para el transporte de agua residual, agua regenerada y agua salada



6

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.

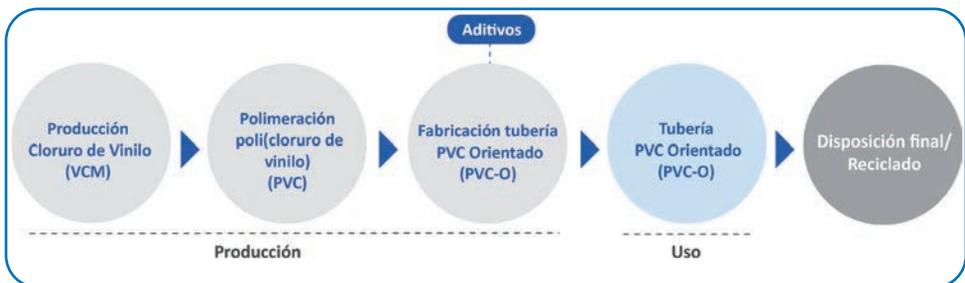
Como contribución a mejorar esta problemática, las **tuberías TOM® de PVC Orientado (PVC-O)** para el transporte de agua a presión, se presentan como la opción más sostenible que existe en el mercado, debido al menor consumo energético y a la menor producción de CO₂ asociado, ya que evitan el consumo 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 resistencia química es inalterable e inócuo, 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.

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 producción de sus **tuberías TOM®** está involucrado en la fase de producción en la etapa de fabricación de tuberías.



Etapas del ciclo de vida de los productos de PVC

Durante dicho ciclo de vida se pueden distinguir varias fases:

• **1. Fase de 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 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.

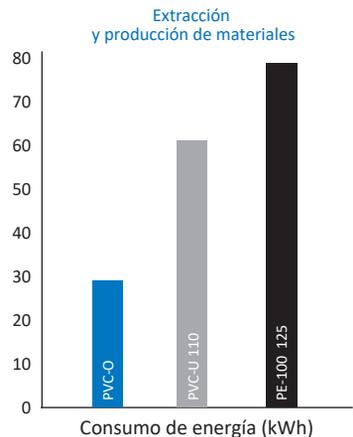


Estructura laminar del PVC-O

Al mismo tiempo se produce un ensanchamiento de la sección interna de la tubería, 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.

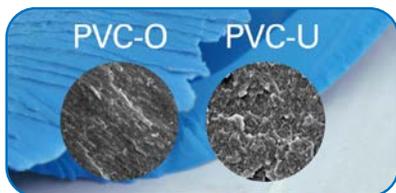
• Eficiencia en costes de instalación

- 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, por lo que para un mismo consumo energético, la cantidad de agua transportada es siempre mayor.



Comparativa de estructura del PVC-O y PVC-U

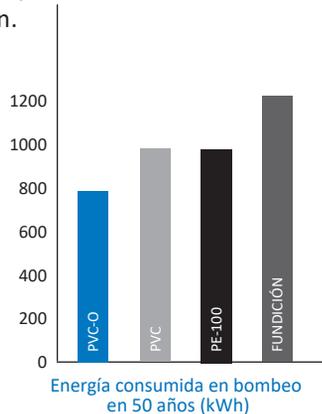


Comparativa de espesores: PVC-O, PVC-U y PE

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 agua 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 mantiene a lo largo de la vida útil de la conducción.



• 3. Fase de reciclaje o disposición final:

El PVC es un material 100% reciclable que 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.

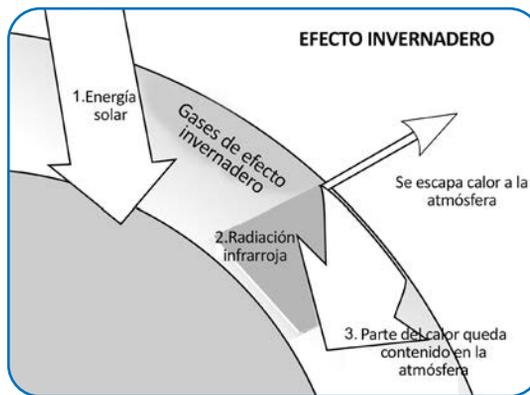
De esta forma se reduce el consumo de materias primas y también el volumen de residuos generados.

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.

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. Éstos son: Dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido de nitrógeno (N_2O), Hidrofluorcarbonos (HCF's), Perfluorocarbonos (PFC's) y Hexafluoruro de azufre (SF_6).



Efecto invernadero

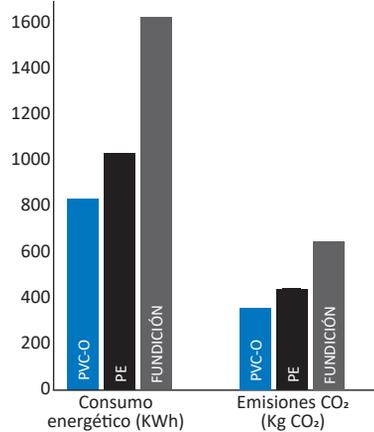
El uso de combustibles fósiles es una de las principales causas que han provocado el aumento de la concentración de CO_2 , el gas que mayor contribución tiene al efecto invernadero. El aumento de la concentración de estos gases en la atmósfera está produciendo mayor retención de calor en la superficie 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**.



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 dos revisiones de mantenimiento anuales, **las tuberías de PVC-O son las que presentan mejor comportamiento, en cuanto al menor consumo energético (828 kWh) y de emisión de CO₂ (363 Kg)** Por 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, elimina 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.



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

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 evita 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.



Tuberías de PVC-O TOM®



7

Anexos





Tabla de pérdidas de cargas continuas

**TOM[®] PVC-O 500
PN12,5**





D. Interno	DN90 PN12,5 84,8		DN110 PN12,5 103,6		DN125 PN12,5 117,8		DN140 PN12,5 132,3		DN160 PN12,5 152,1		DN200 PN12,5 190,1		
	Velocidad	Caudal	J	Caudal	J								
	(m/s)	l/s	m/km	l/s	m/km								
0,1	0,56	0,16	0,84	0,12	1,09	0,11	1,37	0,09	1,82	0,08	2,84	0,06	
0,2	1,13	0,57	1,69	0,46	2,18	0,39	2,75	0,34	3,63	0,29	5,68	0,22	
0,3	1,69	1,21	2,53	0,96	3,27	0,83	4,12	0,72	5,45	0,61	8,51	0,47	
0,4	2,26	2,07	3,37	1,64	4,36	1,41	5,50	1,23	7,27	1,05	11,35	0,81	
0,5	2,82	3,12	4,21	2,47	5,45	2,13	6,87	1,86	9,08	1,58	14,19	1,22	
0,6	3,39	4,39	5,06	3,48	6,54	2,99	8,25	2,61	10,90	2,22	17,03	1,71	
0,7	3,95	5,83	5,90	4,62	7,63	3,98	9,62	3,47	12,72	2,95	19,87	2,28	
0,8	4,52	7,48	6,74	5,91	8,72	5,09	11,00	4,45	14,54	3,78	22,71	2,91	
0,9	5,08	9,29	7,59	7,37	9,81	6,34	12,37	5,53	16,35	4,70	25,54	3,62	
1,0	5,65	11,31	8,43	8,95	10,90	7,70	13,75	6,73	18,17	5,71	28,38	4,40	
1,1	6,21	13,47	9,27	10,67	11,99	9,19	15,12	8,02	19,99	6,82	31,22	5,26	
1,2	6,78	15,85	10,12	12,55	13,08	10,80	16,50	9,43	21,80	8,01	34,06	6,17	
1,3	7,34	18,36	10,96	14,55	14,17	12,52	17,87	10,93	23,62	9,29	36,90	7,16	
1,4	7,91	21,09	11,80	16,68	15,26	14,36	19,25	12,54	25,44	10,66	39,74	8,22	
1,5	8,47	23,94	12,64	18,94	16,35	16,32	20,62	14,25	27,25	12,11	42,57	9,33	
1,6	9,04	27,00	13,49	21,37	17,44	18,39	22,00	16,06	29,07	13,64	45,41	10,52	
1,7	9,60	30,18	14,33	23,90	18,53	20,58	23,37	17,97	30,89	15,27	48,25	11,77	
1,8	10,17	33,59	15,17	26,56	19,62	22,87	24,74	19,97	32,71	16,98	51,09	13,08	
1,9	10,73	37,09	16,02	29,38	20,71	25,28	26,12	22,08	34,52	18,76	53,93	14,46	
2,0	11,30	40,82	16,86	32,30	21,80	27,80	27,49	24,27	36,34	20,63	56,77	15,90	
2,1	11,86	44,65	17,70	35,34	22,89	30,43	28,87	26,57	38,16	22,58	59,60	17,40	
2,2	12,43	48,70	18,55	38,55	23,98	33,17	30,24	28,96	39,97	24,61	62,44	18,97	
2,3	12,99	52,85	19,39	41,84	25,07	36,02	31,62	31,45	41,79	26,72	65,28	20,60	
2,4	13,55	57,14	20,23	45,26	26,16	38,97	32,99	34,02	43,61	28,92	68,12	22,29	
2,5	14,12	61,67	21,07	48,80	27,25	42,03	34,37	36,70	45,42	31,18	70,96	24,04	
2,6	14,68	66,28	21,92	52,51	28,34	45,20	35,74	39,46	47,24	33,53	73,80	25,85	
2,7	15,25	71,12	22,76	56,30	29,43	48,47	37,12	42,33	49,06	35,97	76,63	27,72	
2,8	15,81	76,04	23,60	60,21	30,52	51,85	38,49	45,27	50,88	38,48	79,47	29,65	
2,9	16,38	81,19	24,45	64,28	31,61	55,33	39,87	48,32	52,69	41,05	82,31	31,65	
3,0	16,94	86,41	25,29	68,43	32,70	58,91	41,24	51,44	54,51	43,71	85,15	33,70	
3,1	17,51	91,87	26,13	72,70	33,79	62,60	42,62	54,67	56,33	46,46	87,99	35,81	
3,2	18,07	97,38	26,97	77,09	34,88	66,39	43,99	57,97	58,14	49,26	90,82	37,97	
3,3	18,64	103,15	27,82	81,65	35,97	70,29	45,37	61,38	59,96	52,15	93,66	40,20	
3,4	19,20	108,96	28,66	86,27	37,06	74,28	46,74	64,86	61,78	55,12	96,50	42,49	
3,5	19,77	115,03	29,50	91,02	38,15	78,38	48,11	68,42	63,59	58,15	99,34	44,83	
3,6	20,33	121,14	30,35	95,93	39,24	82,58	49,49	72,10	65,41	61,27	102,18	47,23	
3,7	20,90	127,50	31,19	100,91	40,33	86,88	50,86	75,84	67,23	64,46	105,02	49,69	
3,8	21,46	133,90	32,03	106,00	41,42	91,27	52,24	79,70	69,04	67,71	107,85	52,20	
3,9	22,03	140,56	32,88	111,27	42,51	95,77	53,61	83,61	70,86	71,06	110,69	54,78	
4,0	22,59	147,25	33,72	116,59	43,60	100,37	54,99	87,64	72,68	74,47	113,53	57,41	

1. Tabla de pérdidas de cargas continuas TOM® PVC-O 500 PN12,5

DN225 PN12,5 213,9		DN250 PN12,5 237,6		DN315 PN12,5 299,4		DN355 PN12,5 337,4		DN400 PN12,5 380,2		DN450 PN12,5 427,7		DN500 PN12,5 475,2		DN630 PN12,5 598,8		DN710 PN12,5 674,8		DN800 PN12,5 760,4		DN900 PN12,5 855,4		DN1000 PN12,5 950,5		DN1100 PN12,5 1045,5		DN1200 PN12,5 1140,6			
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																		
3,59	0,05	4,43	0,05	7,04	0,04	8,94	0,03	11,35	0,03	14,37	0,02	17,74	0,02	28,16	0,02	35,76	0,01	45,41	0,01	57,47	0,01	70,96	0,01	85,85	0,01	102,18	0,01		
7,19	0,19	8,87	0,17	14,08	0,13	17,88	0,11	22,71	0,10	28,73	0,09	35,47	0,08	56,32	0,06	71,53	0,05	90,82	0,04	114,94	0,04	141,91	0,03	171,70	0,03	204,36	0,03		
10,78	0,41	13,30	0,37	21,12	0,28	26,82	0,24	34,06	0,21	43,10	0,18	53,21	0,16	84,48	0,12	107,29	0,11	136,24	0,09	172,40	0,08	212,87	0,07	257,55	0,06	306,53	0,06		
14,37	0,70	17,74	0,62	28,16	0,48	35,76	0,41	45,41	0,36	57,47	0,31	70,94	0,28	112,65	0,21	143,05	0,18	181,65	0,16	229,87	0,14	283,83	0,12	343,40	0,11	408,71	0,10		
17,97	1,06	22,17	0,94	35,20	0,72	44,70	0,62	56,77	0,54	71,84	0,47	88,68	0,42	140,81	0,32	178,82	0,28	227,06	0,24	287,34	0,21	354,78	0,19	429,25	0,17	510,89	0,15		
21,56	1,49	26,60	1,32	42,24	1,01	53,65	0,88	68,12	0,76	86,20	0,66	106,41	0,59	168,97	0,45	214,58	0,39	272,47	0,34	344,81	0,30	425,74	0,26	515,10	0,23	613,07	0,21		
25,15	1,98	31,04	1,75	49,28	1,34	62,59	1,17	79,47	1,01	100,57	0,88	124,15	0,78	197,13	0,60	250,34	0,52	317,89	0,45	402,28	0,39	496,70	0,35	600,95	0,31	715,24	0,28		
28,75	2,54	35,47	2,25	56,32	1,71	71,53	1,49	90,82	1,30	114,94	1,13	141,88	1,00	225,29	0,76	286,11	0,66	363,30	0,58	459,75	0,50	567,65	0,45	686,80	0,40	817,42	0,36		
32,34	3,16	39,90	2,79	63,36	2,13	80,47	1,86	102,18	1,61	129,30	1,41	159,62	1,24	253,45	0,95	321,87	0,83	408,71	0,72	517,21	0,63	638,61	0,55	772,65	0,50	919,60	0,45		
35,93	3,84	44,34	3,40	70,40	2,59	89,41	2,26	113,53	1,96	143,67	1,71	177,35	1,51	281,61	1,15	357,64	1,00	454,12	0,87	574,68	0,76	709,57	0,67	858,50	0,60	1021,78	0,54		
39,53	4,58	48,77	4,05	77,44	3,09	98,35	2,69	124,88	2,34	158,04	2,04	195,09	1,80	309,77	1,38	393,40	1,20	499,54	1,04	632,15	0,91	780,52	0,80	944,34	0,72	1123,96	0,65		
43,12	5,38	53,21	4,76	84,48	3,63	107,29	3,16	136,24	2,75	172,40	2,40	212,83	2,12	337,94	1,62	429,16	1,41	544,95	1,22	689,62	1,07	851,48	0,94	1030,19	0,84	1226,13	0,76		
46,71	6,24	57,64	5,52	91,52	4,21	116,23	3,67	147,59	3,19	186,77	2,78	230,56	2,46	366,10	1,88	464,93	1,63	590,36	1,42	747,09	1,24	922,44	1,09	1116,04	0,98	1328,31	0,88		
50,31	7,16	62,07	6,33	98,56	4,83	125,17	4,21	158,94	3,66	201,14	3,19	248,30	2,82	394,26	2,15	500,69	1,87	635,77	1,63	804,56	1,42	993,40	1,26	1201,89	1,12	1430,49	1,02		
53,90	8,13	66,51	7,20	105,61	5,49	134,11	4,78	170,30	4,16	215,51	3,62	266,03	3,20	422,42	2,45	536,45	2,13	681,19	1,85	862,02	1,61	1064,35	1,43	1287,74	1,28	1532,67	1,15		
57,50	9,17	70,94	8,11	112,65	6,19	143,05	5,39	181,65	4,68	229,87	4,08	283,77	3,61	450,58	2,76	572,22	2,40	726,60	2,09	919,49	1,82	1135,31	1,61	1373,59	1,44	1634,85	1,30		
61,09	10,26	75,38	9,07	119,69	6,93	151,99	6,02	193,00	5,24	244,24	4,57	301,50	4,04	478,74	3,08	607,98	2,68	772,01	2,33	976,96	2,03	1206,27	1,80	1459,44	1,61	1737,02	1,45		
64,68	11,40	79,81	10,09	126,73	7,70	160,94	6,70	204,36	5,83	258,61	5,08	319,24	4,49	506,90	3,43	643,74	2,98	817,42	2,59	1034,43	2,26	1277,22	2,00	1545,29	1,79	1839,20	1,62		
68,28	12,60	84,24	11,15	133,77	8,51	169,88	7,40	215,71	6,44	272,97	5,61	336,97	4,96	535,07	3,79	679,51	3,30	862,83	2,87	1091,90	2,50	1348,18	2,21	1631,14	1,98	1941,38	1,79		
71,87	13,86	88,68	12,26	140,81	9,36	178,82	8,14	227,06	7,08	287,34	6,17	354,71	5,46	563,23	4,17	715,27	3,63	908,25	3,15	1149,37	2,75	1419,14	2,43	1716,99	2,18	2043,56	1,96		
75,46	15,17	93,11	13,42	147,85	10,24	187,76	8,91	238,41	7,75	301,71	6,76	372,44	5,98	591,39	4,56	751,03	3,97	953,66	3,45	1206,83	3,01	1490,09	2,66	1802,84	2,38	2145,73	2,15		
79,06	16,53	97,55	14,63	154,89	11,17	196,70	9,71	249,77	8,45	316,08	7,36	390,18	6,51	619,55	4,97	786,80	4,33	999,07	3,76	1264,30	3,28	1561,05	2,90	1888,69	2,60	2247,91	2,34		
82,65	17,95	101,98	15,88	161,93	12,12	205,64	10,55	261,12	9,17	330,44	8,00	407,92	7,07	647,71	5,40	822,56	4,70	1044,48	4,09	1321,77	3,56	1632,01	3,15	1974,54	2,82	2350,09	2,55		
86,24	19,42	106,41	17,18	168,97	13,12	214,58	11,41	272,47	9,93	344,81	8,65	425,65	7,65	675,87	5,84	858,32	5,08	1089,90	4,42	1379,24	3,85	1702,96	3,41	2060,39	3,05	2452,27	2,75		
89,84	20,95	110,85	18,53	176,01	14,15	223,52	12,31	283,83	10,71	359,18	9,33	443,39	8,25	704,03	6,30	894,09	5,48	1135,31	4,77	1436,71	4,16	1773,92	3,67	2146,24	3,29	2554,45	2,97		
93,43	22,53	115,28	19,93	183,05	15,22	232,46	13,23	295,18	11,51	373,54	10,03	461,12	8,87	732,20	6,78	929,85	5,89	1180,72	5,13	1494,18	4,47	1844,88	3,95	2232,09	3,54	2656,62	3,19		
97,02	24,16	119,71	21,37	190,09	16,32	241,40	14,19	306,53	12,35	387,91	10,76	478,86	9,52	760,36	7,27	965,61	6,32	1226,13	5,50	1551,64	4,79	1915,83	4,24	2317,94	3,79	2758,80	3,43		
100,62	25,84	124,15	22,86	197,13	17,45	250,34	15,18	317,89	13,21	402,28	11,51	496,59	10,18	788,52	7,77	1001,38	6,76	1271,55	5,88	1609,11	5,13	1986,79	4,53	2403,79	4,06	2860,98	3,66		
104,21	27,58	128,58	24,39	204,17	18,63	259,29	16,20	329,24	14,09	416,65	12,28	514,33	10,86	816,68	8,29	1037,14	7,22	1316,96	6,28	1666,58	5,47	2057,75	4,84	2489,64	4,33	2963,16	3,91		
107,80	29,36	133,02	25,98	211,21	19,83	268,23	17,25	340,59	15,01	431,01	13,08	532,06	11,57	844,84	8,83	1072,91	7,68	1362,37	6,68	1724,05	5,83	2128,70	5,15	2575,49	4,61	3065,33	4,16		
111,40	31,20	137,45	27,60	218,25	21,07	277,17	18,33	351,95	15,95	445,38	13,90	549,80	12,29	873,00	9,39	1108,67	8,16	1407,78	7,10	1781,52	6,19	2199,66	5,47	2661,34	4,90	3167,51	4,42		
114,99	33,09	141,88	29,27	225,29	22,35	286,11	19,44	363,30	16,91	459,75	14,74	567,54	13,04	901,16	9,95	1144,43	8,66	1453,20	7,53	1838,99	6,56	2270,62	5,80	2747,19	5,19	3269,69	4,69		
118,58	35,03	146,32	30,99	232,33	23,66	295,05	20,58	374,65	17,90	474,11	15,61	585,27	13,80	929,32	10,54	1180,20	9,17	1498,61	7,97	1896,45	6,95	2341,57	6,15	2833,03	5,50	3371,87	4,97		
122,18	37,02	150,75	32,75	239,37	25,01	303,99	21,75	386,01	18,92	488,48	16,49	603,01	14,59	957,49	11,14	1215,96	9,69	1544,02	8,43	1953,92	7,34	2412,53	6,49	2918,88	5,81	3474,05	5,25		
125,77	39,06	155,19	34,56	246,41	26,38	312,93	22,95	397,36	19,97	502,85	17,40	620,74	15,39	985,65	11,75	1251,72	10,22	1589,43	8,89	2011,39	7,75	2483,49	6,85	3004,73	6,13	3576,22	5,54		
129,36	41,15	159,62	36,41	253,45	27,80	321,87	24,18	408,71	21,03	517,21	18,33	638,48	16,21	1013,81	12,38	1287,49	10,77	1634,85	9,37	2068,86	8,17	2554,45	7,22	3090,58	6,46	3678,40	5,84		
132,96	43,30	164,05	38,30	260,49	29,24	330,81	25,44	420,06	22,13	531,58	19,29	656,21	17,06	1041,97	13,02	1323,25	11,33	1680,26	9,86	2126,33	8,59	2625,40	7,60	3176,43	6,80	3780,58	6,14		
136,55	45,49	168,49	40,24	267,53	30,73	339,75	26,73	431,42	23,25	545,95	20,27	673,95	17,92	1070,13	13,68	1359,01	11,90	1725,67	10,35	2183,80	9,02	2696,36	7,98	3262,28	7,14	3882,76	6,45		
140,14	47,73	172,92	42,22	274,57	32,24	348,69	28,04	442,77	24,40	560,32																			



Tabla de pérdidas de cargas continuas

**TOM[®] PVC-O 500
PN16**





D. Interno	DN90 PN16 84,3		DN110 PN16 103,1		DN125 PN16 117,8		DN140 PN16 132,3		DN160 PN16 151,2		DN200 PN16 189,0		
	Velocidad	Caudal	J	Caudal	J								
	(m/s)	l/s	m/km	l/s	m/km								
0,56	0,16	0,83	0,13	1,09	0,11	1,37	0,09	1,80	0,08	2,81	0,06	0,06	
1,12	0,58	1,67	0,46	2,18	0,39	2,75	0,34	3,59	0,29	5,61	0,23	0,23	
1,67	1,22	2,50	0,96	3,27	0,83	4,12	0,72	5,39	0,62	8,42	0,48	0,48	
2,23	2,08	3,34	1,65	4,36	1,41	5,50	1,23	7,18	1,05	11,22	0,81	0,81	
2,79	3,15	4,17	2,49	5,45	2,13	6,87	1,86	8,98	1,59	14,03	1,23	1,23	
3,35	4,42	5,01	3,49	6,54	2,99	8,25	2,61	10,77	2,23	16,83	1,72	1,72	
3,91	5,89	5,84	4,64	7,63	3,98	9,62	3,47	12,57	2,97	19,64	2,29	2,29	
4,47	7,54	6,68	5,95	8,72	5,09	11,00	4,45	14,36	3,80	22,44	2,93	2,93	
5,02	9,35	7,51	7,39	9,81	6,34	12,37	5,53	16,16	4,73	25,25	3,65	3,65	
5,58	11,37	8,35	9,00	10,90	7,70	13,75	6,73	17,96	5,76	28,06	4,44	4,44	
6,14	13,58	9,18	10,73	11,99	9,19	15,12	8,02	19,75	6,86	30,86	5,29	5,29	
6,70	15,96	10,02	12,61	13,08	10,80	16,50	9,43	21,55	8,07	33,67	6,22	6,22	
7,26	18,52	10,85	14,62	14,17	12,52	17,87	10,93	23,34	9,35	36,47	7,21	7,21	
7,81	21,20	11,69	16,78	15,26	14,36	19,25	12,54	25,14	10,73	39,28	8,27	8,27	
8,37	24,10	12,52	19,05	16,35	16,32	20,62	14,25	26,93	12,19	42,08	9,40	9,40	
8,93	27,17	13,36	21,49	17,44	18,39	22,00	16,06	28,73	13,74	44,89	10,59	10,59	
9,49	30,41	14,19	24,03	18,53	20,58	23,37	17,97	30,52	15,37	47,69	11,85	11,85	
10,05	33,82	15,03	26,73	19,62	22,87	24,74	19,97	32,32	17,09	50,50	13,17	13,17	
10,60	37,32	15,86	29,53	20,71	25,28	26,12	22,08	34,12	18,90	53,30	14,56	14,56	
11,16	41,06	16,70	32,49	21,80	27,80	27,49	24,27	35,91	20,77	56,11	16,01	16,01	
11,72	44,95	17,53	35,54	22,89	30,43	28,87	26,57	37,71	22,74	58,92	17,53	17,53	
12,28	49,01	18,37	38,76	23,98	33,17	30,24	28,96	39,50	24,78	61,72	19,10	19,10	
12,84	53,23	19,20	42,06	25,07	36,02	31,62	31,45	41,30	26,91	64,53	20,74	20,74	
13,40	57,61	20,04	45,54	26,16	38,97	32,99	34,02	43,09	29,11	67,33	22,44	22,44	
13,95	62,07	20,87	49,09	27,25	42,03	34,37	36,70	44,89	31,41	70,14	24,20	24,20	
14,51	66,76	21,71	52,81	28,34	45,20	35,74	39,46	46,68	33,76	72,94	26,02	26,02	
15,07	71,61	22,54	56,61	29,43	48,47	37,12	42,33	48,48	36,21	75,75	27,91	27,91	
15,63	76,62	23,38	60,58	30,52	51,85	38,49	45,27	50,27	38,73	78,55	29,85	29,85	
16,19	81,78	24,21	64,62	31,61	55,33	39,87	48,32	52,07	41,34	81,36	31,86	31,86	
16,74	87,00	25,05	68,84	32,70	58,91	41,24	51,44	53,87	44,02	84,17	33,93	33,93	
17,30	92,46	25,88	73,12	33,79	62,60	42,62	54,67	55,66	46,77	86,97	36,05	36,05	
17,86	98,08	26,72	77,58	34,88	66,39	43,99	57,97	57,46	49,61	89,78	38,24	38,24	
18,42	103,86	27,55	82,10	35,97	70,29	45,37	61,38	59,25	52,51	92,58	40,47	40,47	
18,98	109,78	28,38	86,74	37,06	74,28	46,74	64,86	61,05	55,50	95,39	42,78	42,78	
19,53	115,74	29,22	91,55	38,15	78,38	48,11	68,42	62,84	58,55	98,19	45,13	45,13	
20,09	121,96	30,05	96,43	39,24	82,58	49,49	72,10	64,64	61,70	101,00	47,55	47,55	
20,65	128,34	30,89	101,48	40,33	86,88	50,86	75,84	66,43	64,90	103,80	50,02	50,02	
21,21	134,86	31,72	106,59	41,42	91,27	52,24	79,70	68,23	68,19	106,61	52,56	52,56	
21,77	141,52	32,56	111,87	42,51	95,77	53,61	83,61	70,03	71,56	109,42	55,15	55,15	
22,33	148,34	33,39	117,21	43,60	100,37	54,99	87,64	71,82	74,99	112,22	57,80	57,80	

1. Tabla de pérdidas de cargas continuas TOM® PVC-O 500 PN16

DN225 PN16 212,6		DN250 PN16 236,3		DN315 PN16 297,7		DN355 PN16 335,5		DN400 PN16 378,0		DN450 PN16 425,3		DN500 PN16 472,5		DN630 PN16 595,4		DN710 PN16 671,0		DN800 PN16 756,1		DN900 PN16 850,6		DN1000 PN16 945,1		DN1100 PN16 1039,6		DN1200 PN16 1134,1					
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																		
3,55	0,05	4,39	0,05	6,96	0,04	8,84	0,03	11,22	0,03	14,21	0,02	17,53	0,02	27,84	0,02	35,36	0,01	44,90	0,01	56,83	0,01	70,15	0,01	84,88	0,01	101,02	0,01				
7,10	0,20	8,77	0,17	13,92	0,13	17,68	0,12	22,44	0,10	28,41	0,09	35,07	0,08	55,68	0,06	70,72	0,05	89,80	0,04	113,65	0,04	140,31	0,03	169,77	0,03	202,03	0,03				
10,65	0,42	13,16	0,37	20,88	0,28	26,52	0,24	33,67	0,21	42,62	0,19	52,60	0,16	83,53	0,13	106,09	0,11	134,70	0,09	170,48	0,08	210,46	0,07	254,65	0,07	303,05	0,06				
14,20	0,71	17,54	0,63	27,84	0,48	35,36	0,42	44,89	0,36	56,83	0,32	70,14	0,28	111,37	0,21	141,45	0,19	179,60	0,16	227,30	0,14	280,61	0,12	339,53	0,11	404,07	0,10				
17,75	1,07	21,93	0,95	34,80	0,72	44,20	0,63	56,11	0,55	71,03	0,48	87,67	0,42	139,21	0,32	176,81	0,28	224,50	0,24	284,13	0,21	350,76	0,19	424,42	0,17	505,08	0,15				
21,30	1,50	26,31	1,33	41,76	1,01	53,04	0,88	67,33	0,77	85,24	0,67	105,21	0,59	167,05	0,45	212,17	0,39	269,40	0,34	340,95	0,30	420,92	0,26	509,30	0,24	606,10	0,21				
24,85	2,00	30,70	1,77	48,72	1,35	61,88	1,17	78,55	1,02	99,44	0,89	122,74	0,79	194,90	0,60	247,53	0,52	314,30	0,45	397,78	0,40	491,07	0,35	594,18	0,31	707,12	0,28				
28,40	2,56	35,08	2,26	55,68	1,73	70,72	1,50	89,78	1,31	113,65	1,14	140,28	1,01	222,74	0,77	282,89	0,67	359,20	0,58	454,60	0,51	561,22	0,45	679,07	0,40	808,13	0,36				
31,95	3,18	39,47	2,81	62,65	2,15	79,56	1,87	101,00	1,63	127,86	1,42	157,81	1,25	250,58	0,96	318,26	0,83	404,10	0,72	511,43	0,63	631,38	0,56	763,95	0,50	909,15	0,45				
35,50	3,87	43,85	3,42	69,61	2,61	88,40	2,27	112,22	1,98	142,06	1,72	175,35	1,52	278,42	1,16	353,62	1,01	449,00	0,88	568,25	0,77	701,53	0,68	848,83	0,61	1010,17	0,55				
39,05	4,61	48,24	4,08	76,57	3,11	97,25	2,71	123,44	2,36	156,27	2,05	192,88	1,82	306,27	1,39	388,98	1,21	493,90	1,05	625,08	0,91	771,68	0,81	933,72	0,72	1111,18	0,65				
42,60	5,42	52,63	4,79	83,53	3,66	106,09	3,18	134,66	2,77	170,48	2,41	210,41	2,13	334,11	1,63	424,34	1,42	538,80	1,23	681,90	1,07	841,83	0,95	1018,60	0,85	1212,20	0,77				
46,15	6,29	57,01	5,56	90,49	4,24	114,93	3,69	145,89	3,21	184,68	2,80	227,95	2,47	361,95	1,89	459,70	1,64	583,70	1,43	738,73	1,25	911,99	1,10	1103,48	0,99	1313,22	0,89				
49,70	7,21	61,40	6,37	97,45	4,87	123,77	4,23	157,11	3,68	198,89	3,21	245,48	2,84	389,79	2,17	495,07	1,89	628,60	1,64	795,55	1,43	982,14	1,26	1188,37	1,13	1414,23	1,02				
53,25	8,19	65,78	7,24	104,41	5,53	132,61	4,81	168,33	4,19	213,09	3,65	263,02	3,23	417,64	2,46	530,43	2,14	673,50	1,86	852,38	1,62	1052,29	1,44	1273,25	1,29	1515,25	1,16				
56,80	9,23	70,17	8,16	111,37	6,23	141,45	5,42	179,55	4,72	227,30	4,11	280,55	3,64	445,48	2,78	565,79	2,41	718,40	2,10	909,20	1,83	1122,45	1,62	1358,13	1,45	1616,26	1,31				
60,35	10,33	74,55	9,13	118,33	6,97	150,29	6,07	190,78	5,28	241,51	4,60	298,09	4,07	473,32	3,11	601,15	2,70	763,30	2,35	966,03	2,05	1192,60	1,81	1443,02	1,62	1717,28	1,46				
63,90	11,48	78,94	10,15	125,29	7,75	159,13	6,74	202,00	5,87	255,71	5,11	315,62	4,52	501,16	3,45	636,51	3,00	808,20	2,61	1022,85	2,28	1262,75	2,01	1527,90	1,80	1818,30	1,63				
67,45	12,69	83,32	11,22	132,25	8,57	167,97	7,45	213,22	6,48	269,92	5,65	333,16	5,00	529,01	3,82	671,88	3,32	853,10	2,89	1079,68	2,52	1332,90	2,23	1612,78	1,99	1919,31	1,80				
71,00	13,96	87,71	12,34	139,21	9,42	176,81	8,20	224,44	7,13	284,13	6,21	350,69	5,50	556,85	4,20	707,24	3,65	898,00	3,17	1136,50	2,77	1403,06	2,45	1697,67	2,19	2020,33	1,98				
74,55	15,28	92,10	13,50	146,17	10,31	185,65	8,97	235,66	7,80	298,33	6,80	368,22	6,02	584,69	4,59	742,60	3,99	942,90	3,48	1193,33	3,03	1473,21	2,68	1782,55	2,40	2121,35	2,17				
78,10	16,65	96,48	14,72	153,13	11,24	194,49	9,78	246,89	8,51	312,54	7,41	385,76	6,56	612,53	5,01	777,96	4,35	987,80	3,79	1250,15	3,30	1543,36	2,92	1867,43	2,61	2222,36	2,36				
81,65	18,08	100,87	15,98	160,09	12,20	203,33	10,62	258,11	9,24	326,74	8,05	403,29	7,12	640,38	5,44	813,32	4,73	1032,70	4,11	1306,98	3,58	1613,52	3,17	1952,32	2,84	2323,38	2,56				
85,20	19,56	105,25	17,29	167,05	13,21	212,17	11,49	269,33	9,99	340,95	8,71	420,83	7,70	668,22	5,88	848,68	5,12	1077,61	4,45	1363,80	3,88	1683,67	3,43	2037,20	3,07	2424,40	2,77				
88,75	21,10	109,64	18,65	174,02	14,24	221,01	12,39	280,55	10,78	355,16	9,39	438,36	8,31	696,06	6,34	884,05	5,52	1122,51	4,80	1420,63	4,18	1753,82	3,70	2122,08	3,31	2525,41	2,99				
92,30	22,69	114,02	20,05	180,98	15,32	229,85	13,32	291,77	11,59	369,36	10,10	455,90	8,93	723,90	6,82	919,41	5,93	1167,41	5,16	1477,45	4,50	1823,97	3,98	2206,97	3,56	2626,43	3,22				
95,85	24,33	118,41	21,51	187,94	16,43	238,69	14,29	303,00	12,43	383,57	10,83	473,43	9,58	751,75	7,32	954,77	6,36	1212,31	5,53	1534,28	4,82	1894,13	4,27	2291,85	3,82	2727,45	3,45				
99,40	26,03	122,79	23,00	194,90	17,57	247,53	15,28	314,22	13,30	397,78	11,59	490,97	10,25	779,59	7,82	990,13	6,81	1257,21	5,92	1591,10	5,16	1964,28	4,56	2376,73	4,08	2828,46	3,69				
102,95	27,77	127,18	24,55	201,86	18,75	256,37	16,31	325,44	14,19	411,98	12,37	508,50	10,94	807,43	8,35	1025,49	7,26	1302,11	6,32	1647,93	5,51	2034,43	4,87	2461,62	4,36	2929,48	3,94				
106,50	29,57	131,56	26,14	208,82	19,96	265,21	17,36	336,66	15,11	426,19	13,17	526,04	11,64	835,27	8,89	1060,86	7,73	1347,01	6,73	1704,75	5,86	2104,59	5,19	2546,50	4,64	3030,50	4,19				
110,05	31,43	135,95	27,78	215,78	21,21	274,05	18,45	347,88	16,05	440,39	13,99	543,57	12,37	863,12	9,45	1096,22	8,22	1391,91	7,15	1761,58	6,23	2174,74	5,51	2631,38	4,93	3131,51	4,45				
113,60	33,33	140,34	29,46	222,74	22,50	282,89	19,57	359,11	17,03	454,60	14,84	561,10	13,12	890,96	10,02	1131,58	8,72	1436,81	7,58	1818,40	6,61	2244,89	5,84	2716,27	5,23	3232,53	4,72				
117,15	35,28	144,72	31,19	229,70	23,82	291,74	20,72	370,33	18,03	468,81	15,71	578,64	13,89	918,80	10,61	1166,94	9,23	1481,71	8,03	1875,23	7,00	2315,04	6,19	2801,15	5,54	3333,55	5,00				
120,70	37,29	149,11	32,96	236,66	25,17	300,58	21,90	381,55	19,05	483,01	16,60	596,17	14,68	946,64	11,21	1202,30	9,75	1526,61	8,48	1932,06	7,39	2385,20	6,54	2886,03	5,85	3434,56	5,29				
124,25	39,35	153,49	34,78	243,62	26,56	309,42	23,10	392,77	20,10	497,22	17,52	613,71	15,49	974,49	11,83	1237,66	10,29	1571,51	8,95	1988,88	7,80	2455,35	6,90	2970,92	6,17	3535,58	5,58				
127,80	41,45	157,88	36,64	250,58	27,98	318,26	24,34	403,99	21,18	511,43	18,46	631,24	16,32	1002,33	12,46	1273,03	10,84	1616,41	9,43	2045,71	8,22	2525,50	7,27	3055,80	6,50	3636,60	5,88				
131,35	43,61	162,26	38,55	257,54	29,44	327,10	25,61	415,22	22,28	525,63	19,42	648,78	17,17	1030,17	13,11	1308,39	11,40	1661,31	9,92	2102,53	8,65	2595,66	7,65	3140,68	6,84	3737,61	6,18				
134,90	45,82	166,65	40,50	264,50	30,93	335,94	26,90	426,44	23,41	539,84	20,40	666,31	18,04	1058,01	13,77	1343,75	11,98	1706,21	10,42	2159,36	9,08	2665,81	8,03	3225,57	7,19	3838,63	6,49				
138,45	48,08	171,03	42,49	271,46	32,45	344,78	28,23	437,66	24,56	554,05	21,40	683,85	18,93	1085,86	14,45	1379,11	12,57	1751,11	10,94	2216,18	9,53	2735,96	8,43	3310,45	7,54	3939,65	6,81				
142,00	50,38	175,42	44,54	278,42	34,01	353,62	29,58	448,88	25,74	56																					



Tabla de pérdidas de cargas continuas

TOM[®] PVC-O 500 PN20





D. Interno	DN90 PN20 84,3		DN110 PN20 103,0		DN125 PN20 117,1		DN140 PN20 131,1		DN160 PN20 149,8		DN200 PN20 187,3		
	Velocidad	Caudal	J	Caudal	J								
	(m/s)	l/s	m/km	l/s	m/km								
0,1	0,56	0,16	0,83	0,13	1,08	0,11	1,35	0,10	1,76	0,08	2,76	0,06	
0,2	1,12	0,58	1,67	0,46	2,15	0,39	2,70	0,35	3,52	0,29	5,51	0,23	
0,3	1,67	1,22	2,50	0,97	3,23	0,83	4,05	0,73	5,29	0,63	8,27	0,48	
0,4	2,23	2,08	3,33	1,65	4,31	1,42	5,40	1,25	7,05	1,07	11,02	0,82	
0,5	2,79	3,15	4,17	2,50	5,38	2,14	6,75	1,88	8,81	1,61	13,78	1,24	
0,6	3,35	4,42	5,00	3,50	6,46	3,01	8,10	2,64	10,57	2,26	16,53	1,74	
0,7	3,91	5,89	5,83	4,65	7,54	4,01	9,45	3,51	12,34	3,01	19,29	2,32	
0,8	4,47	7,54	6,67	5,96	8,62	5,13	10,80	4,50	14,10	3,85	22,04	2,96	
0,9	5,02	9,35	7,50	7,41	9,69	6,38	12,15	5,59	15,86	4,78	24,80	3,69	
1,0	5,58	11,37	8,33	9,00	10,77	7,75	13,50	6,80	17,62	5,81	27,55	4,48	
1,1	6,14	13,58	9,17	10,75	11,85	9,26	14,85	8,11	19,39	6,94	30,31	5,35	
1,2	6,70	15,96	10,00	12,63	12,92	10,86	16,20	9,53	21,15	8,15	33,06	6,28	
1,3	7,26	18,52	10,83	14,64	14,00	12,60	17,55	11,05	22,91	9,46	35,82	7,29	
1,4	7,81	21,20	11,67	16,81	15,08	14,46	18,90	12,68	24,67	10,84	38,57	8,36	
1,5	8,37	24,10	12,50	19,09	16,15	16,42	20,25	14,40	26,44	12,33	41,33	9,50	
1,6	8,93	27,17	13,33	21,50	17,23	18,51	21,60	16,23	28,20	13,89	44,08	10,70	
1,7	9,49	30,41	14,16	24,05	18,31	20,72	22,95	18,16	29,96	15,54	46,84	11,97	
1,8	10,05	33,82	15,00	26,76	19,39	23,04	24,30	20,19	31,72	17,27	49,60	13,31	
1,9	10,60	37,32	15,83	29,56	20,46	25,45	25,65	22,32	33,49	19,10	52,35	14,71	
2,0	11,16	41,06	16,66	32,50	21,54	27,99	27,00	24,54	35,25	21,00	55,11	16,18	
2,1	11,72	44,95	17,50	35,60	22,62	30,65	28,35	26,86	37,01	22,98	57,86	17,71	
2,2	12,28	49,01	18,33	38,79	23,69	33,39	29,70	29,28	38,77	25,05	60,62	19,31	
2,3	12,84	53,23	19,16	42,10	24,77	36,26	31,05	31,79	40,54	27,21	63,37	20,96	
2,4	13,40	57,61	20,00	45,58	25,85	39,24	32,40	34,40	42,30	29,44	66,13	22,68	
2,5	13,95	62,07	20,83	49,15	26,92	42,30	33,75	37,10	44,06	31,74	68,88	24,46	
2,6	14,51	66,76	21,66	52,84	28,00	45,50	35,10	39,89	45,82	34,13	71,64	26,30	
2,7	15,07	71,61	22,50	56,69	29,08	48,80	36,45	42,78	47,59	36,62	74,39	28,21	
2,8	15,63	76,62	23,33	60,63	30,16	52,21	37,80	45,76	49,35	39,16	77,15	30,17	
2,9	16,19	81,78	24,16	64,68	31,23	55,70	39,15	48,83	51,11	41,79	79,90	32,20	
3,0	16,74	87,00	25,00	68,91	32,31	59,32	40,50	52,00	52,87	44,49	82,66	34,29	
3,1	17,30	92,46	25,83	73,21	33,39	63,04	41,85	55,25	54,64	47,29	85,41	36,43	
3,2	17,86	98,08	26,66	77,62	34,46	66,83	43,20	58,60	56,40	50,15	88,17	38,64	
3,3	18,42	103,86	27,50	82,21	35,54	70,76	44,55	62,04	58,16	53,09	90,92	40,90	
3,4	18,98	109,78	28,33	86,87	36,62	74,80	45,90	65,56	59,92	56,10	93,68	43,23	
3,5	19,53	115,74	29,16	91,64	37,69	78,90	47,25	69,18	61,69	59,21	96,43	45,61	
3,6	20,09	121,96	30,00	96,59	38,77	83,13	48,60	72,88	63,45	62,37	99,19	48,06	
3,7	20,65	128,34	30,83	101,59	39,85	87,47	49,95	76,68	65,21	65,62	101,95	50,56	
3,8	21,21	134,86	31,66	106,72	40,92	91,87	51,30	80,56	66,97	68,93	104,70	53,12	
3,9	21,77	141,52	32,50	112,02	42,00	96,41	52,65	84,53	68,74	72,35	107,46	55,74	
4,0	22,33	148,34	33,33	117,38	43,08	101,06	54,00	88,59	70,50	75,81	110,21	58,41	

1. Tabla de pérdidas de cargas continuas TOM® PVC-O 500 PN20

DN225 PN20 210,7		DN250 PN20 234,1		DN315 PN20 295,0		DN355 PN20 332,5		DN400 PN20 374,6		DN450 PN20 421,4		DN500 PN20 468,2		DN630 PN20 590,0		DN710 PN20 664,9		DN800 PN20 749,2		DN900 PN20 839,5		DN1000 PN20 932,8		DN1100 PN20 1026,1		DN1200 PN20 1119,4			
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																		
3,49	0,06	4,30	0,05	6,83	0,04	8,68	0,03	11,02	0,03	13,95	0,02	17,22	0,02	27,34	0,02	34,72	0,01	44,08	0,01	55,35	0,01	68,34	0,01	82,69	0,01	98,41	0,01		
6,97	0,20	8,61	0,18	13,67	0,13	17,37	0,12	22,04	0,10	27,89	0,09	34,43	0,08	54,68	0,06	69,44	0,05	88,17	0,05	110,70	0,04	136,68	0,03	165,39	0,03	196,83	0,03		
10,46	0,42	12,91	0,37	20,50	0,28	26,05	0,25	33,06	0,21	41,84	0,19	51,65	0,17	82,02	0,13	104,17	0,11	132,25	0,10	166,06	0,08	205,02	0,07	248,08	0,07	295,24	0,06		
13,95	0,72	17,22	0,63	27,34	0,48	34,73	0,42	44,08	0,37	55,79	0,32	68,87	0,28	109,36	0,22	138,89	0,19	176,34	0,16	221,41	0,14	273,35	0,13	330,77	0,11	393,66	0,10		
17,43	1,08	21,52	0,96	34,17	0,73	43,42	0,64	55,11	0,55	69,73	0,48	86,08	0,43	136,70	0,33	173,61	0,28	220,42	0,25	276,76	0,22	341,69	0,19	413,47	0,17	492,07	0,15		
20,92	1,52	25,83	1,34	41,01	1,02	52,10	0,89	66,13	0,78	83,68	0,68	103,30	0,60	164,04	0,46	208,33	0,40	264,51	0,35	332,11	0,30	410,03	0,27	496,16	0,24	590,49	0,22		
24,41	2,02	30,13	1,78	47,84	1,36	60,78	1,18	77,15	1,03	97,63	0,90	120,52	0,79	191,38	0,61	243,05	0,53	308,59	0,46	387,46	0,40	478,37	0,36	578,85	0,32	688,90	0,29		
27,89	2,58	34,43	2,28	54,68	1,74	69,46	1,52	88,17	1,32	111,58	1,15	137,73	1,02	218,72	0,78	277,77	0,68	352,68	0,59	442,81	0,51	546,71	0,46	661,54	0,41	787,32	0,37		
31,38	3,21	38,74	2,84	61,51	2,17	78,15	1,89	99,19	1,64	125,52	1,43	154,95	1,27	246,06	0,97	312,50	0,84	396,76	0,73	498,17	0,64	615,05	0,57	744,24	0,51	885,73	0,46		
34,87	3,91	43,04	3,45	68,35	2,64	86,83	2,29	110,21	2,00	139,47	1,74	172,17	1,54	273,40	1,17	347,22	1,02	440,84	0,89	553,52	0,78	683,39	0,69	826,93	0,62	984,15	0,56		
38,35	4,66	47,35	4,12	75,18	3,15	95,51	2,74	121,23	2,38	153,42	2,08	189,38	1,84	300,74	1,40	381,94	1,22	484,93	1,06	608,87	0,93	751,73	0,82	909,62	0,73	1082,56	0,66		
41,84	5,48	51,65	4,84	82,02	3,70	104,20	3,22	132,25	2,80	167,36	2,44	206,60	2,16	328,08	1,65	416,66	1,43	529,01	1,25	664,22	1,09	820,06	0,96	992,32	0,86	1180,98	0,78		
45,33	6,35	55,95	5,62	88,85	4,29	112,88	3,73	143,27	3,24	181,31	2,83	223,82	2,50	355,42	1,91	451,38	1,66	573,10	1,45	719,57	1,27	888,40	1,12	1075,01	1,00	1279,39	0,90		
48,81	7,28	60,26	6,44	95,69	4,92	121,56	4,28	154,30	3,72	195,26	3,24	241,04	2,87	382,76	2,19	486,11	1,91	617,18	1,66	774,92	1,45	956,74	1,28	1157,70	1,15	1377,81	1,04		
52,30	8,28	64,56	7,32	102,52	5,59	130,25	4,86	165,32	4,23	209,20	3,69	258,25	3,26	410,10	2,49	520,83	2,17	661,27	1,88	830,28	1,65	1025,08	1,46	1240,40	1,30	1476,22	1,18		
55,79	9,33	68,87	8,25	109,36	6,30	138,93	5,48	176,34	4,77	223,15	4,15	275,47	3,67	437,44	2,81	555,55	2,44	705,35	2,12	885,63	1,86	1093,42	1,64	1323,09	1,47	1574,64	1,33		
59,27	10,44	73,17	9,23	116,19	7,05	147,61	6,13	187,36	5,33	237,10	4,65	292,69	4,11	464,78	3,14	590,27	2,73	749,44	2,38	940,98	2,08	1161,76	1,84	1405,78	1,65	1673,05	1,49		
62,76	11,60	77,48	10,26	123,03	7,83	156,30	6,81	198,38	5,93	251,04	5,17	309,90	4,57	492,11	3,49	624,99	3,03	793,52	2,64	996,33	2,31	1230,10	2,04	1488,48	1,83	1771,47	1,65		
66,25	12,83	81,78	11,34	129,86	8,66	164,98	7,53	209,40	6,55	264,99	5,71	327,12	5,05	519,45	3,86	659,71	3,35	837,60	2,92	1051,68	2,56	1298,44	2,26	1571,17	2,02	1869,88	1,83		
69,73	14,10	86,08	12,47	136,70	9,52	173,66	8,28	220,42	7,21	278,94	6,28	344,34	5,55	546,79	4,24	694,44	3,69	881,69	3,21	1107,03	2,81	1366,77	2,48	1653,86	2,22	1968,30	2,01		
73,22	15,44	90,39	13,65	143,53	10,42	182,34	9,06	231,44	7,89	292,89	6,87	361,55	6,08	574,13	4,64	729,16	4,04	925,77	3,51	1162,39	3,08	1435,11	2,72	1736,56	2,43	2066,71	2,20		
76,71	16,83	94,69	14,88	150,37	11,36	191,03	9,88	242,46	8,60	306,83	7,49	378,77	6,63	601,47	5,06	763,88	4,40	969,86	3,83	1217,74	3,35	1503,45	2,96	1819,25	2,65	2165,13	2,40		
80,19	18,27	99,00	16,16	157,20	12,34	199,71	10,73	253,49	9,33	320,78	8,14	395,99	7,20	628,81	5,49	798,60	4,78	1013,94	4,16	1273,09	3,64	1571,79	3,22	1901,94	2,88	2263,54	2,60		
83,68	19,77	103,30	17,48	164,04	13,35	208,39	11,61	264,51	10,10	334,73	8,80	413,20	7,79	656,15	5,94	833,32	5,17	1058,03	4,50	1328,44	3,94	1640,13	3,48	1984,63	3,12	2361,96	2,82		
87,17	21,32	107,61	18,86	170,87	14,40	217,08	12,52	275,53	10,89	348,67	9,49	430,42	8,40	683,49	6,41	868,05	5,58	1102,11	4,85	1383,79	4,25	1708,47	3,76	2067,33	3,36	2460,37	3,04		
90,66	22,93	111,91	20,28	177,71	15,48	225,76	13,46	286,55	11,71	362,62	10,21	447,64	9,03	710,83	6,89	902,77	6,00	1146,20	5,22	1439,15	4,57	1776,81	4,04	2150,02	3,61	2558,79	3,27		
94,14	24,59	116,21	21,74	184,54	16,60	234,44	14,44	297,57	12,56	376,57	10,95	464,85	9,68	738,17	7,39	937,49	6,43	1190,28	5,59	1494,50	4,90	1845,15	4,33	2232,71	3,88	2657,20	3,50		
97,63	26,30	120,52	23,26	191,38	17,76	243,13	15,44	308,59	13,44	390,51	11,71	482,07	10,36	765,51	7,91	972,21	6,88	1234,36	5,98	1549,85	5,24	1913,48	4,63	2315,41	4,15	2755,61	3,75		
101,12	28,07	124,82	24,82	198,21	18,95	251,81	16,48	319,61	14,34	404,46	12,50	499,29	11,05	792,85	8,44	1006,93	7,34	1278,45	6,39	1605,20	5,59	1981,82	4,94	2398,10	4,42	2854,03	4,00		
104,60	29,88	129,13	26,43	205,05	20,18	260,49	17,55	330,63	15,27	418,41	13,31	516,50	11,77	820,19	8,99	1041,65	7,82	1322,53	6,80	1660,55	5,95	2050,16	5,27	2480,79	4,71	2952,44	4,26		
108,09	31,76	133,43	28,08	211,88	21,44	269,18	18,65	341,65	16,22	432,36	14,14	533,72	12,51	847,53	9,55	1076,38	8,31	1366,62	7,23	1715,90	6,33	2118,50	5,59	2563,49	5,01	3050,86	4,52		
111,58	33,68	137,73	29,78	218,72	22,74	277,86	19,78	352,68	17,21	446,30	15,00	550,94	13,26	874,87	10,13	1111,10	8,81	1410,70	7,66	1771,26	6,71	2186,84	5,93	2646,18	5,31	3149,27	4,80		
115,06	35,65	142,04	31,53	225,55	24,07	286,54	20,94	363,70	18,22	460,25	15,88	568,15	14,04	902,21	10,72	1145,82	9,33	1454,79	8,11	1826,61	7,10	2255,18	6,28	2728,87	5,62	3247,69	5,08		
118,55	37,68	146,34	33,32	232,39	25,44	295,22	22,13	374,72	19,25	474,20	16,78	585,37	14,84	929,55	11,33	1180,54	9,86	1498,87	8,57	1881,96	7,51	2323,52	6,64	2811,57	5,94	3346,10	5,37		
122,04	39,76	150,65	35,16	239,22	26,84	303,91	23,35	385,74	20,31	488,14	17,71	602,59	15,66	956,89	11,96	1215,26	10,40	1542,96	9,05	1937,31	7,92	2391,86	7,00	2894,26	6,27	3444,52	5,66		
125,52	41,89	154,95	37,04	246,06	28,28	312,59	24,60	396,76	21,40	502,09	18,65	619,81	16,50	984,23	12,60	1249,99	10,96	1587,04	9,53	1992,66	8,35	2460,19	7,38	2976,95	6,60	3542,93	5,97		
129,01	44,07	159,26	38,97	252,89	29,75	321,27	25,88	407,78	22,52	516,04	19,63	637,02	17,36	1011,57	13,25	1284,71	11,53	1631,12	10,03	2048,01	8,78	2528,53	7,76	3059,64	6,95	3641,35	6,28		
132,50	46,30	163,56	40,94	259,73	31,26	329,96	27,19	418,80	23,66	529,98	20,62	654,24	18,23	1038,91	13,92	1319,43	12,11	1675,21	10,53	2103,37	9,22	2596,87	8,16	3142,34	7,30	3739,76	6,59		
135,98	48,58	167,86	42,96	266,56	32,80	338,64	28,53	429,82	24,82	543,93	21,64	671,46	19,13	1066,2															



Tabla de pérdidas de cargas continuas

**TOM[®] PVC-O 500
PN25**





D. Interno	DN90 PN25 83,0		DN110 PN25 100,8		DN125 PN25 114,5		DN140 PN25 129,1		DN160 PN25 146,6		DN200 PN25 183,3		
	Velocidad	Caudal	J	Caudal	J								
	(m/s)	l/s	m/km	l/s	m/km								
0,1	0,54	0,16	0,80	0,13	1,03	0,11	1,31	0,10	1,69	0,08	2,64	0,06	
0,2	1,08	0,59	1,60	0,47	2,06	0,40	2,62	0,35	3,38	0,30	5,28	0,23	
0,3	1,62	1,24	2,39	0,99	3,09	0,86	3,93	0,75	5,06	0,64	7,92	0,49	
0,4	2,16	2,12	3,19	1,69	4,12	1,46	5,24	1,27	6,75	1,09	10,56	0,84	
0,5	2,71	3,22	3,99	2,56	5,15	2,21	6,55	1,92	8,44	1,65	13,19	1,27	
0,6	3,25	4,51	4,79	3,59	6,18	3,09	7,85	2,68	10,13	2,32	15,83	1,78	
0,7	3,79	5,99	5,59	4,78	7,21	4,11	9,16	3,57	11,82	3,08	18,47	2,37	
0,8	4,33	7,67	6,38	6,10	8,24	5,27	10,47	4,58	13,50	3,94	21,11	3,04	
0,9	4,87	9,53	7,18	7,59	9,27	6,55	11,78	5,69	15,19	4,91	23,75	3,78	
1,0	5,41	11,58	7,98	9,24	10,30	7,96	13,09	6,92	16,88	5,97	26,39	4,60	
1,1	5,95	13,82	8,78	11,02	11,33	9,50	14,40	8,26	18,57	7,12	29,03	5,48	
1,2	6,49	16,23	9,58	12,96	12,36	11,16	15,71	9,70	20,26	8,37	31,67	6,44	
1,3	7,03	18,82	10,37	15,00	13,39	12,95	17,02	11,25	21,94	9,70	34,31	7,47	
1,4	7,57	21,58	11,17	17,22	14,42	14,85	18,33	12,91	23,63	11,12	36,94	8,57	
1,5	8,12	24,57	11,97	19,57	15,45	16,88	19,64	14,67	25,32	12,64	39,58	9,74	
1,6	8,66	27,69	12,77	22,06	16,47	19,00	20,94	16,52	27,01	14,25	42,22	10,98	
1,7	9,20	30,97	13,57	24,69	17,50	21,26	22,25	18,48	28,70	15,94	44,86	12,28	
1,8	9,74	34,42	14,36	27,42	18,53	23,63	23,56	20,55	30,38	17,71	47,50	13,65	
1,9	10,28	38,04	15,16	30,31	19,56	26,12	24,87	22,71	32,07	19,58	50,14	15,09	
2,0	10,82	41,82	15,96	33,34	20,59	28,73	26,18	24,98	33,76	21,54	52,78	16,59	
2,1	11,36	45,77	16,76	36,50	21,62	31,44	27,49	27,34	35,45	23,58	55,42	18,16	
2,2	11,90	49,88	17,56	39,79	22,65	34,27	28,80	29,81	37,13	25,69	58,05	19,79	
2,3	12,44	54,15	18,35	43,17	23,68	37,22	30,11	32,36	38,82	27,89	60,69	21,49	
2,4	12,99	58,67	19,15	46,72	24,71	40,27	31,42	35,02	40,51	30,18	63,33	23,26	
2,5	13,53	63,26	19,95	50,40	25,74	43,43	32,73	37,77	42,20	32,56	65,97	25,08	
2,6	14,07	68,02	20,75	54,21	26,77	46,71	34,03	40,60	43,89	35,01	68,61	26,97	
2,7	14,61	72,93	21,55	58,14	27,80	50,09	35,34	43,54	45,57	37,54	71,25	28,93	
2,8	15,15	78,00	22,34	62,15	28,83	53,58	36,65	46,58	47,26	40,16	73,89	30,94	
2,9	15,69	83,23	23,14	66,34	29,86	57,18	37,96	49,71	48,95	42,86	76,53	33,02	
3,0	16,23	88,61	23,94	70,65	30,89	60,89	39,27	52,93	50,64	45,64	79,17	35,16	
3,1	16,77	94,15	24,74	75,08	31,92	64,70	40,58	56,25	52,33	48,50	81,80	37,36	
3,2	17,31	99,84	25,54	79,64	32,95	68,62	41,89	59,66	54,01	51,42	84,44	39,62	
3,3	17,86	105,80	26,33	84,26	33,98	72,64	43,20	63,16	55,70	54,44	87,08	41,95	
3,4	18,40	111,80	27,13	89,07	35,01	76,78	44,51	66,75	57,39	57,54	89,72	44,33	
3,5	18,94	117,95	27,93	93,99	36,04	81,01	45,82	70,43	59,08	60,71	92,36	46,78	
3,6	19,48	124,25	28,73	99,04	37,07	85,35	47,12	74,18	60,77	63,97	95,00	49,28	
3,7	20,02	130,71	29,53	104,21	38,10	89,79	48,43	78,04	62,45	67,28	97,64	51,85	
3,8	20,56	137,31	30,32	109,43	39,13	94,34	49,74	82,00	64,14	70,69	100,28	54,48	
3,9	21,10	144,07	31,12	114,83	40,16	98,99	51,05	86,04	65,83	74,18	102,92	57,16	
4,0	21,64	150,97	31,92	120,36	41,19	103,75	52,36	90,18	67,52	77,75	105,55	59,90	

1. Tabla de pérdidas de cargas continuas TOM® PVC-O 500 PN25

DN225 PN25 207,5		DN250 PN25 229,1		DN315 PN25 288,6		DN355 PN25 325,3		DN400 PN25 366,5		DN450 PN25 412,3		DN500 PN25 458,1		DN630 PN25 581,0		DN710 PN25 654,7		DN800 PN25 733,0		DN900 PN25 824,1		DN1000 PN25 915,6		DN1100 PN25 1007,2		DN1200 PN25 1098,8					
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																		
3,38	0,06	4,12	0,05	6,54	0,04	8,31	0,03	10,55	0,03	13,35	0,03	16,48	0,02	26,51	0,02	33,66	0,01	42,20	0,01	53,34	0,01	65,84	0,01	79,67	0,01	94,83	0,01				
6,76	0,20	8,24	0,18	13,08	0,14	16,62	0,12	21,10	0,10	26,70	0,09	32,96	0,08	53,02	0,06	67,33	0,05	84,40	0,05	106,68	0,04	131,68	0,04	159,35	0,03	189,65	0,03				
10,14	0,43	12,37	0,38	19,62	0,29	24,93	0,25	31,65	0,22	40,05	0,19	49,45	0,17	79,54	0,13	100,99	0,11	126,60	0,10	160,02	0,09	197,53	0,08	239,02	0,07	284,48	0,06				
13,53	0,73	16,49	0,65	26,17	0,50	33,24	0,43	42,20	0,38	53,40	0,33	65,93	0,29	106,05	0,22	134,66	0,19	168,79	0,17	213,36	0,15	263,37	0,13	318,70	0,12	379,30	0,10				
16,91	1,10	20,61	0,98	32,71	0,75	41,56	0,65	52,75	0,57	66,76	0,49	82,41	0,44	132,56	0,33	168,32	0,29	210,99	0,25	266,70	0,22	329,21	0,19	398,37	0,17	474,13	0,16				
20,29	1,54	24,73	1,38	39,25	1,05	49,87	0,91	63,30	0,80	80,11	0,69	98,89	0,61	159,07	0,46	201,99	0,40	253,19	0,35	320,04	0,31	395,05	0,27	478,05	0,24	568,96	0,22				
23,67	2,05	28,86	1,83	45,79	1,40	58,18	1,22	73,85	1,06	93,46	0,92	115,37	0,82	185,58	0,62	235,65	0,54	295,39	0,47	373,38	0,41	460,89	0,36	557,72	0,33	663,78	0,29				
27,05	2,63	32,98	2,34	52,33	1,79	66,49	1,56	84,40	1,35	106,81	1,18	131,86	1,04	212,10	0,79	269,32	0,69	337,59	0,60	426,72	0,53	526,73	0,47	637,40	0,42	758,61	0,38				
30,43	3,27	37,10	2,91	58,87	2,23	74,80	1,94	94,95	1,68	120,16	1,47	148,34	1,30	238,61	0,98	302,98	0,86	379,79	0,75	480,06	0,65	592,58	0,58	717,07	0,52	853,43	0,47				
33,82	3,98	41,22	3,54	65,42	2,71	83,11	2,35	105,50	2,05	133,51	1,78	164,82	1,58	265,12	1,20	336,65	1,04	421,99	0,91	533,40	0,80	658,42	0,70	796,75	0,63	948,26	0,57				
37,20	4,75	45,35	4,23	71,96	3,23	91,42	2,81	116,05	2,44	146,86	2,13	181,30	1,88	291,63	1,43	370,31	1,24	464,18	1,09	586,74	0,95	724,26	0,84	876,42	0,75	1043,09	0,68				
40,58	5,57	49,47	4,97	78,50	3,79	99,73	3,30	126,60	2,87	160,21	2,50	197,78	2,21	318,14	1,68	403,98	1,46	506,38	1,28	640,08	1,11	790,10	0,99	956,10	0,88	1137,91	0,80				
43,96	6,46	53,59	5,76	85,04	4,40	108,04	3,83	137,15	3,33	173,56	2,90	214,27	2,57	344,66	1,94	437,64	1,69	548,58	1,48	693,41	1,29	855,94	1,14	1035,77	1,02	1232,74	0,92				
47,34	7,42	57,71	6,61	91,58	5,05	116,36	4,39	147,70	3,82	186,92	3,33	230,75	2,94	371,17	2,23	471,31	1,94	590,78	1,70	746,75	1,48	921,78	1,31	1115,45	1,17	1327,56	1,06				
50,72	8,43	61,83	7,51	98,12	5,73	124,67	4,99	158,24	4,34	200,27	3,78	247,23	3,34	397,68	2,53	504,97	2,20	632,98	1,93	800,09	1,69	987,63	1,49	1195,12	1,33	1422,39	1,20				
54,11	9,50	65,96	8,46	104,67	6,46	132,98	5,62	168,79	4,89	213,62	4,26	263,71	3,77	424,19	2,86	538,63	2,48	675,18	2,18	853,43	1,90	1053,47	1,68	1274,80	1,50	1517,22	1,36				
57,49	10,63	70,08	9,47	111,21	7,23	141,29	6,29	179,34	5,47	226,97	4,77	280,19	4,22	450,70	3,20	572,30	2,78	717,38	2,44	906,77	2,13	1119,31	1,88	1354,47	1,68	1612,04	1,52				
60,87	11,81	74,20	10,52	117,75	8,04	149,60	6,99	189,89	6,08	240,32	5,30	296,68	4,69	477,22	3,55	605,96	3,09	759,57	2,71	960,11	2,36	1185,15	2,09	1434,15	1,87	1706,87	1,69				
64,25	13,06	78,32	11,63	124,29	8,88	157,91	7,73	200,44	6,72	253,67	5,86	313,16	5,18	503,73	3,93	639,63	3,42	801,77	2,99	1013,45	2,61	1250,99	2,31	1513,82	2,07	1801,69	1,87				
67,63	14,36	82,45	12,79	130,83	9,77	166,22	8,50	210,99	7,39	267,02	6,44	329,64	5,70	530,24	4,32	673,29	3,76	843,97	3,29	1066,79	2,87	1316,84	2,54	1593,50	2,27	1896,52	2,05				
71,01	15,71	86,57	14,00	137,37	10,69	174,53	9,30	221,54	8,09	280,37	7,05	346,12	6,24	556,75	4,73	706,96	4,11	886,17	3,60	1120,13	3,14	1382,68	2,78	1673,17	2,49	1991,34	2,25				
74,40	17,13	90,69	15,26	143,91	11,65	182,84	10,14	232,09	8,82	293,72	7,69	362,60	6,80	583,26	5,15	740,62	4,48	928,37	3,93	1173,47	3,43	1448,52	3,03	1752,85	2,71	2086,17	2,45				
77,78	18,60	94,81	16,57	150,46	12,66	191,16	11,01	242,64	9,58	307,07	8,35	379,09	7,38	609,78	5,59	774,29	4,87	970,57	4,26	1226,81	3,72	1514,36	3,29	1832,52	2,94	2181,00	2,66				
81,16	20,12	98,94	17,93	157,00	13,69	199,47	11,91	253,19	10,36	320,43	9,03	395,57	7,99	636,29	6,05	807,95	5,26	1012,77	4,61	1280,15	4,02	1580,20	3,56	1912,20	3,18	2275,82	2,88				
84,54	21,70	103,06	19,34	163,54	14,77	207,78	12,84	263,74	11,17	333,78	9,74	412,05	8,61	662,80	6,53	841,62	5,68	1054,96	4,98	1333,49	4,34	1646,04	3,84	1991,87	3,43	2370,65	3,10				
87,92	23,34	107,18	20,79	170,08	15,88	216,09	13,81	274,29	12,02	347,13	10,47	428,53	9,26	689,31	7,02	875,28	6,11	1097,16	5,35	1386,83	4,67	1711,89	4,13	2071,55	3,69	2465,47	3,34				
91,30	25,03	111,30	22,30	176,62	17,03	224,40	14,81	284,84	12,89	360,48	11,23	445,01	9,93	715,82	7,53	908,95	6,55	1139,36	5,74	1440,17	5,01	1777,73	4,43	2151,22	3,96	2560,30	3,58				
94,69	26,78	115,42	23,85	183,16	18,22	232,71	15,84	295,39	13,78	373,83	12,01	461,50	10,63	742,34	8,05	942,61	7,00	1181,56	6,14	1493,51	5,35	1843,57	4,74	2230,90	4,24	2655,13	3,83				
98,07	28,57	119,55	25,45	189,71	19,44	241,02	16,91	305,94	14,71	387,18	12,82	477,98	11,34	768,85	8,59	976,28	7,47	1223,76	6,55	1546,85	5,71	1909,41	5,05	2310,57	4,52	2749,95	4,08				
101,45	30,42	123,67	27,10	196,25	20,70	249,33	18,00	316,49	15,66	400,53	13,65	494,46	12,07	795,36	9,15	1009,94	7,96	1265,96	6,98	1600,19	6,08	1975,25	5,38	2390,25	4,81	2844,78	4,35				
104,83	32,33	127,79	28,80	202,79	22,00	257,64	19,13	327,04	16,64	413,88	14,51	510,94	12,83	821,87	9,72	1043,61	8,46	1308,16	7,41	1653,53	6,47	2041,09	5,72	2469,92	5,12	2939,60	4,62				
108,21	34,28	131,91	30,54	209,33	23,33	265,95	20,29	337,59	17,65	427,23	15,39	527,42	13,61	848,38	10,31	1077,27	8,97	1350,35	7,86	1706,87	6,86	2106,94	6,06	2549,60	5,43	3034,43	4,90				
111,59	36,29	136,04	32,34	215,87	24,70	274,27	21,48	348,14	18,69	440,59	16,29	543,91	14,40	874,90	10,92	1110,93	9,49	1392,55	8,32	1760,21	7,26	2172,78	6,42	2629,27	5,74	3129,26	5,19				
114,98	38,36	140,16	34,17	222,41	26,10	282,58	22,70	358,69	19,75	453,94	17,21	560,39	15,22	901,41	11,54	1144,60	10,03	1434,75	8,80	1813,55	7,67	2238,62	6,78	2708,95	6,07	3224,08	5,48				
118,36	40,48	144,28	36,06	228,96	27,54	290,89	23,95	369,24	20,84	467,29	18,16	576,87	16,06	927,92	12,17	1178,26	10,59	1476,95	9,28	1866,89	8,09	2304,46	7,16	2788,62	6,40	3318,91	5,79				
121,74	42,64	148,40	37,99	235,50	29,02	299,20	25,23	379,79	21,95	480,64	19,14	593,35	16,92	954,43	12,82	1211,93	11,16	1519,15	9,78	1920,23	8,53	2370,30	7,54	2868,30	6,75	3413,73	6,10				
125,12	44,86	152,53	39,97	242,04	30,53	307,51	26,55	390,34	23,10	493,99	20,13	609,83	17,80	980,94	13,49	1245,59	11,74	1561,35	10,29	1973,56	8,97	2436,15	7,93	2947,97	7,10	3508,56	6,41				
128,50	47,13	156,65	41,99	248,58	32,07	315,82	27,89	400,89	24,27	507,34	21,15	626,32	18,70	1007,46	14,17	1279,26	12,33	1603,55	10,81	2026,90	9,43	2501,99	8,34	3027,64	7,46	3603,39	6,74				
131,88	49,45	160,77	44,06	255,12	33,65	324,13	29,26	411,44	25,46	520,69	22,19	642,80	19,63	1033,97	14,87	1312,92	12,94	1645,74	11,34	2080,24	9,89	2567,83	8,75	3107,32	7,83	3698,21	7,07				
135,27	51,83	164,89	46,17	261,66	35,27	332,44	30,67	421,99	26,69	534,04	23,																				



2. Coeficientes de pérdidas de carga localizada (k_l)

2.1. Ensanchamientos y estrechamientos

- Expansiones bruscas

Para valores de $Re < 10$:

$$k_l = 26/Re$$

Para valores $10 < Re < 3500$:

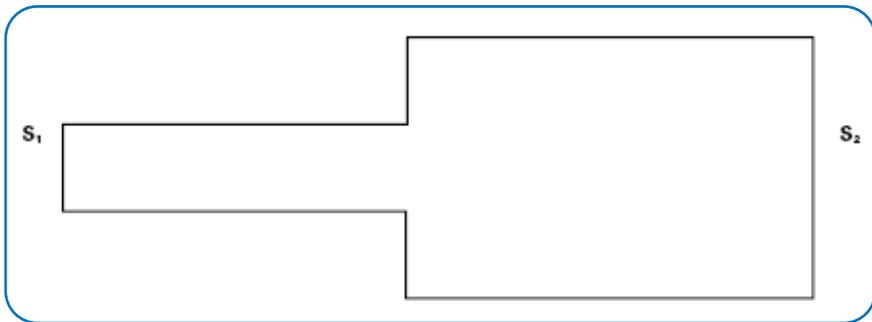
Véase el valor k_l en la tabla

Para valores de $Re > 3500$:

$$k_l = (1 - (S_1/S_2))^2$$

Fórmula de cálculo nº de Reynolds:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$



Expansión brusca

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	

• **Contracciones bruscas**

Para valores de $1 < Re < 8$:

Para valores $8 < Re < 10^4$:

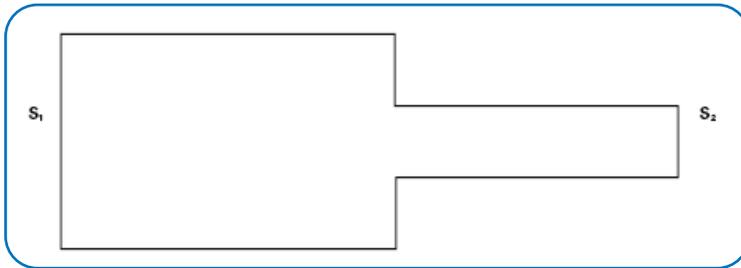
Para valores de $Re > 3500$:

$$k_1 = 27/Re$$

Véase el valor k_1 en la tabla

$$k_1 = (1 - (S_1/S_2))^2$$

Fórmula de cálculo nº de Reynolds: $Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$



Contracción brusca

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	

• **Expansiones suaves**

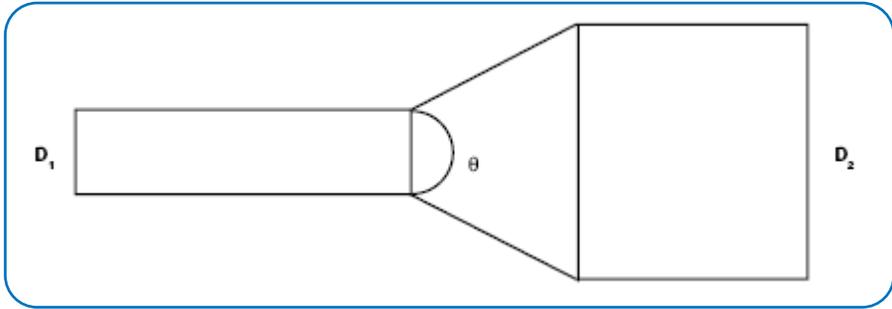
D_2/D_1	Re										
	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°		
1,5	0,4	0,95	1,2	1,15	1,10	1,05	1,02	1	1		
3	0,4	0,80	1	1,05	1,05	1,05	1,02	1	1		

Fórmula de cálculo: $K_1 = C_3 \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2$

Donde:

A_1 : Sección de la tubería 1

A_2 : Sección de la tubería 2



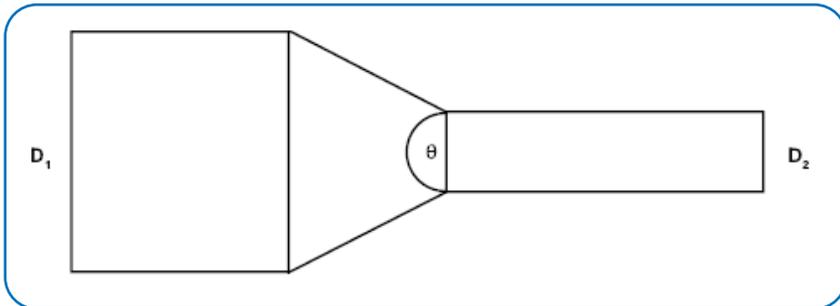
Expansión suave

Ejemplo:

	DI (mm)	A (mm ²)	D ₂ /D ₁	θ	C _a	k _i
DN110 PN16	104	8494,87	1,5	80°	1,15	1,441
DN160 PN16	151,4	18002,9				

• **Contracciones suaves**

θ	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	80
k _i	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,35



Contracción suave

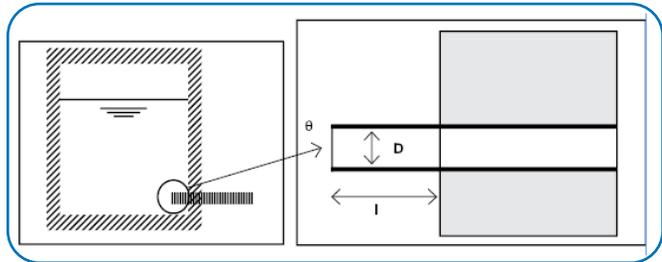
2.2. Salida y entrada de depósitos

• 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
 DI(mm): 151,4
 l(mm): 30
 e/D: 0,02312
 l/D: 0,20
 k_f : **0,62**



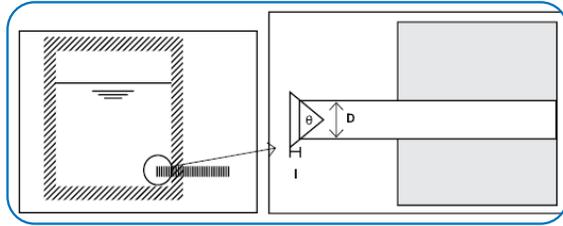
Salida de una tubería desde depósito sin colector

• Salida de una tubería desde depósito con cono colector

l/D	θ								
	0°	10°	20°	30°	40°	60°	100°	140°	180°
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

DI(mm): 151,4
 l(mm): 23
 θ : 20°
 l/D: 0,15
 k_f : **0,58**



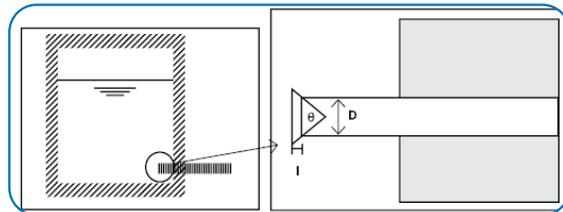
Salida de una tubería desde depósito con cono colector

• 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

DI(mm): 151,4
 l(mm): 23
 θ : 20°
 l/D: 0,15
 k_f : **0,27**



Salida con cono colector embutido en el muro de un depósito

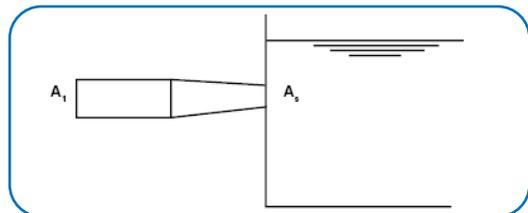
• Entrada de tubería a depósito

A_s/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	0,90	0,92	0,94	0,965	1,0

Ejemplo:

	DI(mm)	A (mm ²)
DN110 PN16	104	8494,87
DN160 PN16	151,4	18002,9

AS/A1: 0,5
 k_f : **0,88**

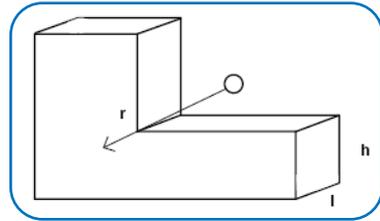


Entrada de tubería a depósito

2.3. Codos

• 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



Codo de 90°. Sección rectangular

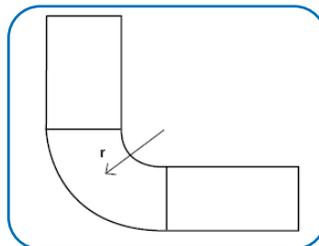
• Codos de 90°. Sección circular

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	0,20	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	0,20	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	0,20	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	0,50	0,56	0,59	0,63	0,65	0,69	0,71	0,75	0,79	0,83	0,89	0,99	1,06

• 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	0,20	0,38	0,50	0,62	0,73	0,81	0,89	0,95	1	1,04	1,09	1,12

Codo de ángulo distinto a 90°



Ejemplo:

Para codos de 45°													
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

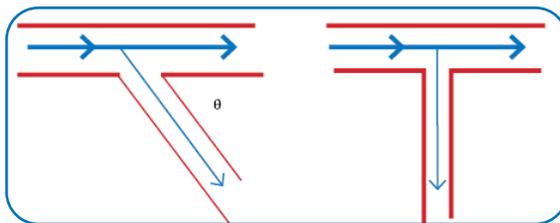
2.4. Bifurcaciones (Tes)

• **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	0,04
0,2	0,88	-0,08	0,68	-0,06	-0,06
0,4	0,59	-0,05	0,50	-0,04	-0,04
0,6	0,95	0,07	0,38	0,07	0,07
0,8	1,10	0,31	0,35	0,20	0,20
1,0	1,28	0,35	0,48	0,33	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



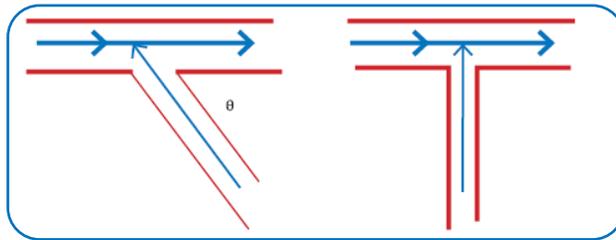
Bifurcaciones (Tes)

• Unión de conductos

θ	90°		45°	
	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 Qa(l/s): 16
 Q/Q_a: 0,8
 θ : 90°
 K_a : **0,72**
 K_c : **0,51**



Unión de conductos

• Bifurcación simétrica

θ	10°	20°	30°	40°	50°
k_f	0,1	0,3	0,7	1	1,4

2.5. Válvulas

• Válvula de compuerta

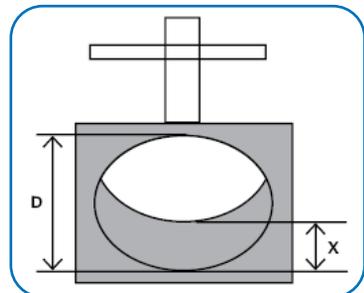
• Válvula de compuerta en tubería circular:

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_f	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_f : **4,57**

Válvula de compuerta en tubería circular

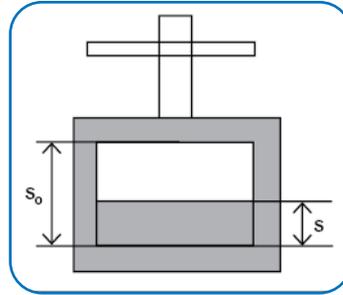


• **Tajaderas de sección rectangular:**

S_0/S	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
k_f	193	44,5	17,8	8,12	4,02	2,08	0,95	0,39	0,09	0

Ejemplo:

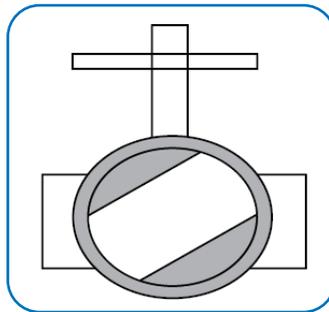
S_0 (mm): 100
 S (mm): 200
 S_0/S : 0,5
 k_f : **4,02**



Tajadera de sección rectangular

• **Válvulas esféricas**

θ	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	82°
k_f	-	0,05	0,29	0,75	1,56	3,10	5,47	9,68	17,3	31,2	52,6	106	206	486	-



Válvula esférica

• **Válvulas de mariposa**

• **Válvulas de mariposa parcialmente abierta:**

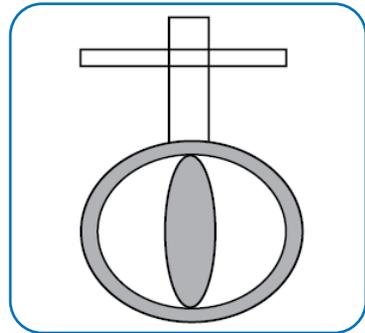
θ	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	90°
k_f	0	0,24	0,52	0,90	1,54	2,51	3,91	6,22	10,8	18,7	32,6	58,8	118	256	750	-

• Válvulas de mariposa completamente abierta:

e/D	0,05	0,15	0,20	0,25
k_i	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_i : **0,13**



Válvula de mariposa completamente abierta

3. Coeficientes de Prandtl-Colebrook-White, Hazen-Williams y Manning

Coeficiente Manning (n) para velocidad máxima.

Material	Prandtl - Colebrook		Hazen - Williams		Manning	
	k (mm)		c		n	
	Nueva	En servicio	Nueva	En servicio	Nueva	En servicio
Fundición	0,100	0,200	130	100	0,012	0,017
Hormigón	0,300	3,000	140	110	0,013	0,017
Acero	0,030	0,100	120	90	0,008	0,011
Polietileno	0,005	0,030	150	140	0,007	0,009
PRFV	0,030	0,060	110	100	0,009	0,010
PVC	0,003	0,007	150	140	0,007	0,009
PVC-O	0,003	0,007	150	140	0,007	0,009

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 (véase Anexo "Normativa y Referencias bibliográficas").



Tuberías de PVC-O TOM®

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 Pírcico	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 Diclórico	E	E	Alcohol Alifílico 96%	NR	NR		

Tabla resistencia química de las tuberías de PVC-O

Descripción	E: excelente NR: no recomendada		B: bueno	R: regular	I: información no comprobada	
	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	
Amoniaco	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	Cloruro 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	Cloruro 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	

Tabla resistencia química de las tuberías de PVC-O

Descripción	E: excelente NR: no recomendada		B: bueno I: información no comprobada	R: regular	
	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 Etílico	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 Fostato 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	Melasas	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 Mercurioso	B	B
Glicerina o Glicerol	E	E	Nitrobencono	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	Oxícloruro de Aluminio	E	E
Hexanol (Terciario)	R	NR	Oxido Nitroso	E	E
Hidrógeno	E	E	Oxígeno	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

Tabla resistencia química de las tuberías de PVC-O

Descripción	E: excelente NR: no recomendada		B: bueno	R: regular I: información no comprobada	
	23 °C	60 °C	Descripción	23 °C	60 °C
Permanganato de Potasio 10	B	B	Sulfito 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 Níquel	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			

Tabla resistencia química de las tuberías de PVC-O

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

Tabla de coeficientes de dilatación térmica

8

Anexos de cálculos mecánicos





Cálculo mecánico (según UNE 53331 - veáse Anexo "Normativa y Referencias bibliográficas") - Tuberías 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 (H_a)	0,0	m
Presión exterior (P_e)	0,0	bar
Presión de servicio (P_s)	10,0	bar
Apoyo tipo A: cama continua de material granular		
2α	60	°
Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso específico. Terreno	20	kN/m ³
Tipo de terreno		
No cohesivo. Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino ($(\phi \leq 0,06 \text{ mm})$) inferior al 5%		
Compactaciones (proctor normal)		
E_1	100%	
E_2, E_3, E_4	95%	





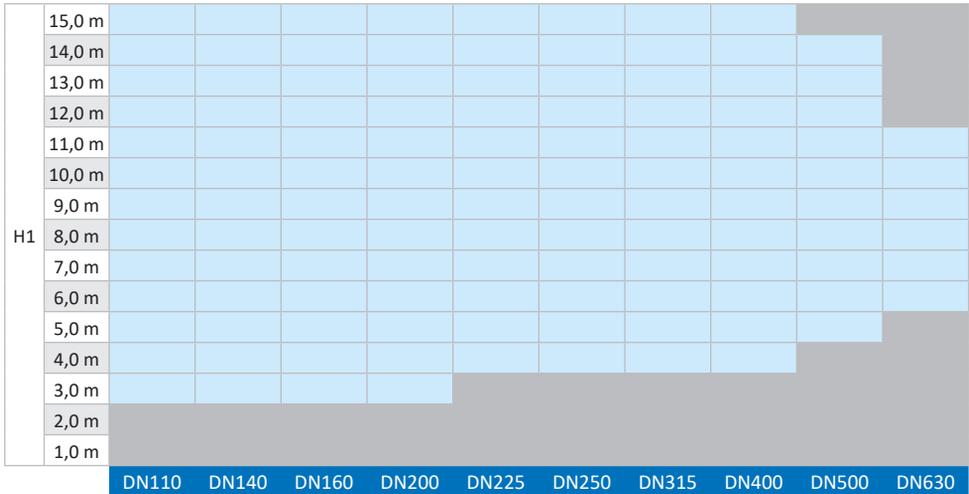
Estudio mecánico tubería PVC-O 500 a presión PN12,5 (presión de servicio = 10 bar) sin tráfico

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 mecánico 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 mecánico tubería PVC-O 500 a presión PN12,5 (presión de servicio = 10 bar) con tráfico pesado - (3 ejes - 60 Tns)



Estudio mecánico 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= 15.000 N/mm²) + 20 cm. Zahorra (E_f= 20.000 N/mm²)



• Condiciones generales

Tubo en zanja		
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)	Beta (β)	72
	Talud	V 3
		H 1
Presiones		
Nivel freático (H_a)	0,0	m
Presión exterior (P_e)	0,0	bar
Presión de servicio (P_s)	8,0	bar
Apoyo tipo A: cama continua de material granular		
2α	60	°
Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso específico. Terreno	20	kN/m ³
Tipo de terreno		
No cohesivo. Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino ($(\phi \leq 0,06$ mm) inferior al 5%		
Compactaciones (proctor normal)		
E_1	100%	
E_2, E_3, E_4	95%	



Herramienta de Cálculo Mecánico: TOMCalculation

Aquí puedes acceder al Programa de Cálculo Mecánico: TOMCalculation



Estudio mecánico tubería PVC-O 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 mecánico tubería PVC-O 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

Cálculo mecánico (según UNE 53331 - veáse Anexo "Normativa y Referencias bibliográficas") - Tuberías TOM® de PVC-O para agua a presión (PN16)

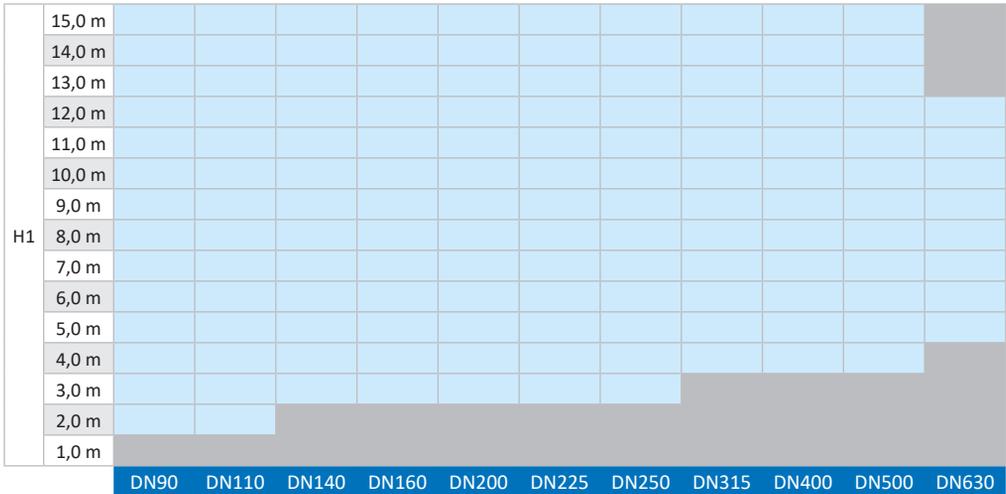
DN	90	110	140	160	200	225	250	315	400	500	630
B1	0,71	0,75	0,80	0,83	0,89	0,94	0,98	1,08	1,22	1,39	1,60

• Condiciones generales

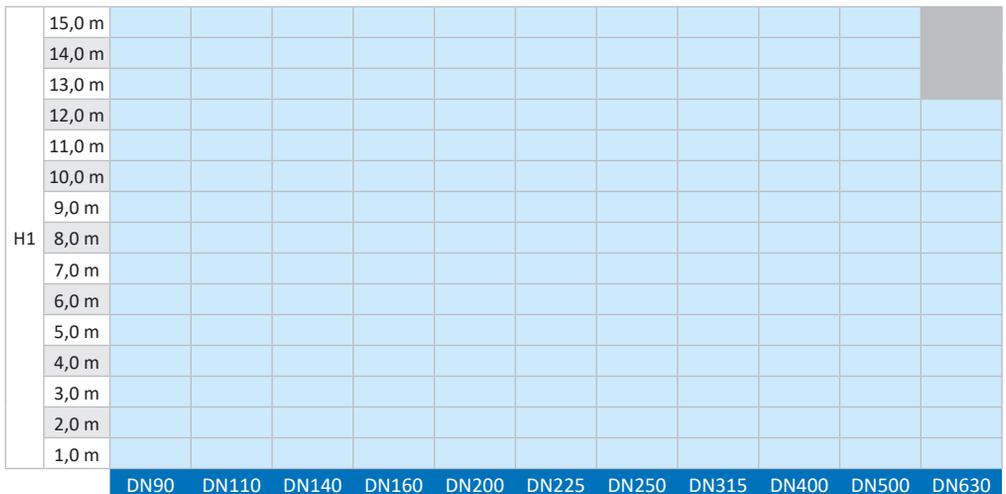
Tubo en zanja		
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)	Beta (β)	72
	Talud	V 3
		H 1
Presiones		
Nivel freático (H_a)	0,0	m
Presión exterior (P_e)	0,0	bar
Presión de servicio (P_s)	12,0	bar
Apoyo tipo A: cama continua de material granular		
2α	60	°
Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso específico. Terreno	20	kN/m ³
Tipo de terreno		
No cohesivo. Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino ($(\emptyset \leq 0,06 \text{ mm})$) inferior al 5%		
Compactaciones (proctor normal)		
E_1	100%	
E_2, E_3, E_4	95%	



**Estudio mecánico tubería PVC-O 500 a presión PN16 (presión de servicio = 12 bar)
con tráfico pesado (3 ejes - 60 Tns)**

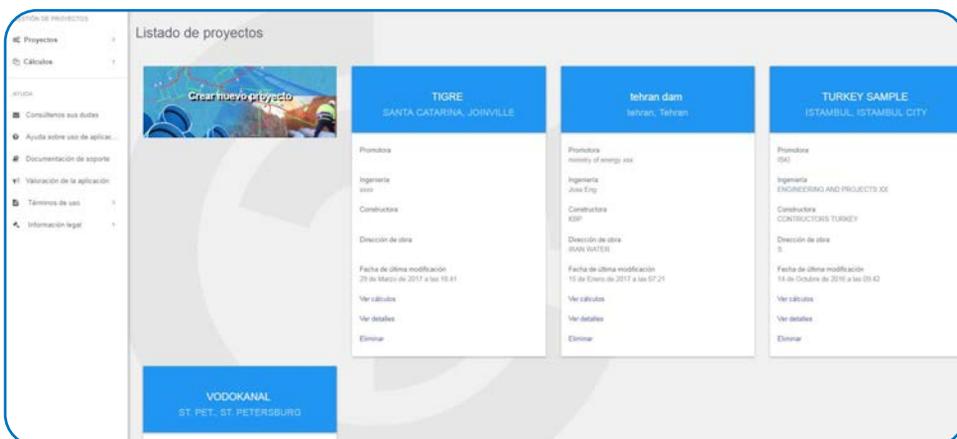


**Estudio mecánico tubería PVC-O 500 a presión PN16 (presión de servicio = 12 bar)
con tráfico pesado (3 ejes - 60 Tns) - Pavimentación: 15 cm de aglomerado asfáltico
(Ef: 15.000 N/mm²) + 20 cm. Zahorra (Ef: 20.000 N/mm²)**



• Condiciones generales

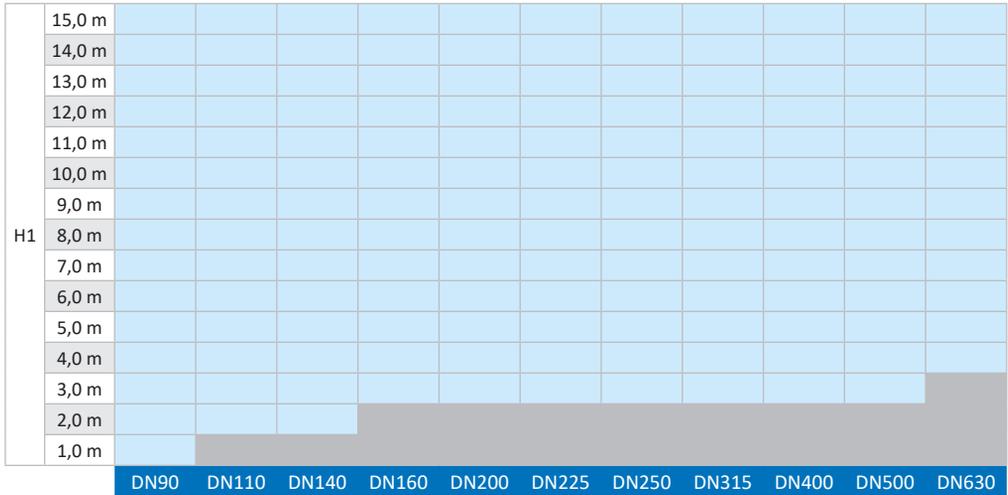
Tubo en zanja		
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)	Beta (β)	72
	Talud	V 3
		H 1
Presiones		
Nivel freático (H_a)	0,0	m
Presión exterior (P_e)	0,0	bar
Presión de servicio (P_s)	10,0	bar
Apoyo tipo A: cama continua de material granular		
2α	60	°
Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso específico. Terreno	20	kN/m ³
Tipo de terreno		
No cohesivo. Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino ($(\phi \leq 0,06 \text{ mm})$ inferior al 5%		
Compactaciones (proctor normal)		
E_1	100%	
E_2, E_3, E_4	95%	



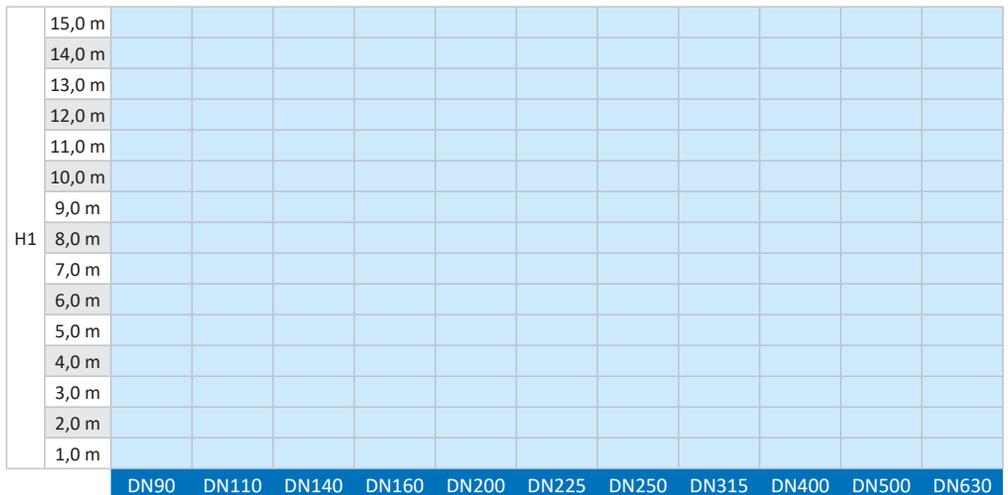
Herramienta de Cálculo Mecánico: TOMCalculation



**Estudio mecánico tubería PVC-O 500 a presión PN16 (presión de servicio = 10 bar)
con tráfico pesado (3 ejes - 60 Tns)**



**Estudio mecánico 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
(Ef: 15.000 N/mm²) + 20 cm. Zahorra (Ef: 20.000 N/mm²)**



Cálculo mecánico (según UNE 53331 - veáse Anexo "Normativa y Referencias bibliográficas") - Tuberías 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 (H_a)	0,0	m
Presión exterior (P_e)	0,0	bar
Presión de servicio (P_s)	17,0	bar
Apoyo tipo A: cama continua de material granular		
2α	60	°
Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso específico. Terreno	20	kN/m ³
Tipo de terreno		
No cohesivo. Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino ($(\emptyset \leq 0,06 \text{ mm})$) inferior al 5%		
Compactaciones (proctor normal)		
E_1	100%	
E_2, E_3, E_4	95%	



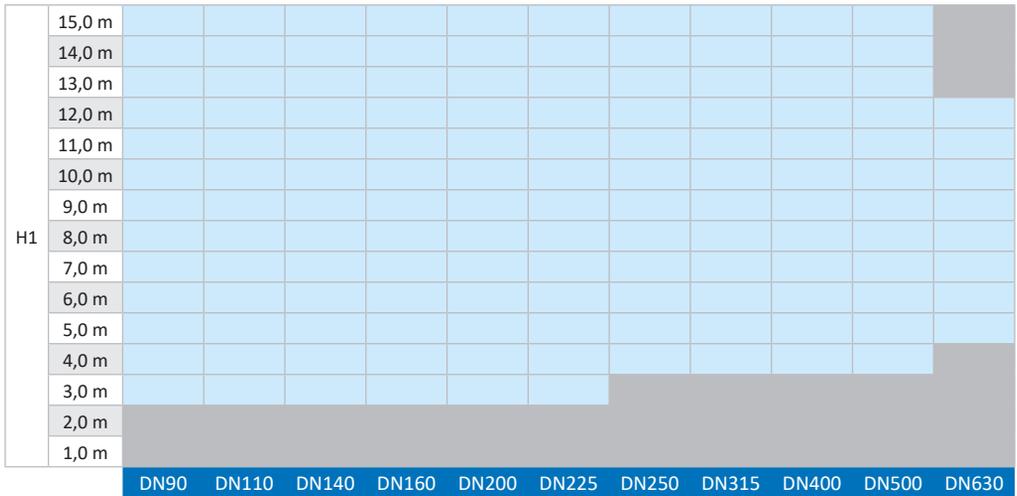
Estudio mecánico tubería PVC-O 500 a presión PN20 (presión de servicio = 17 bar) sin tráfico

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

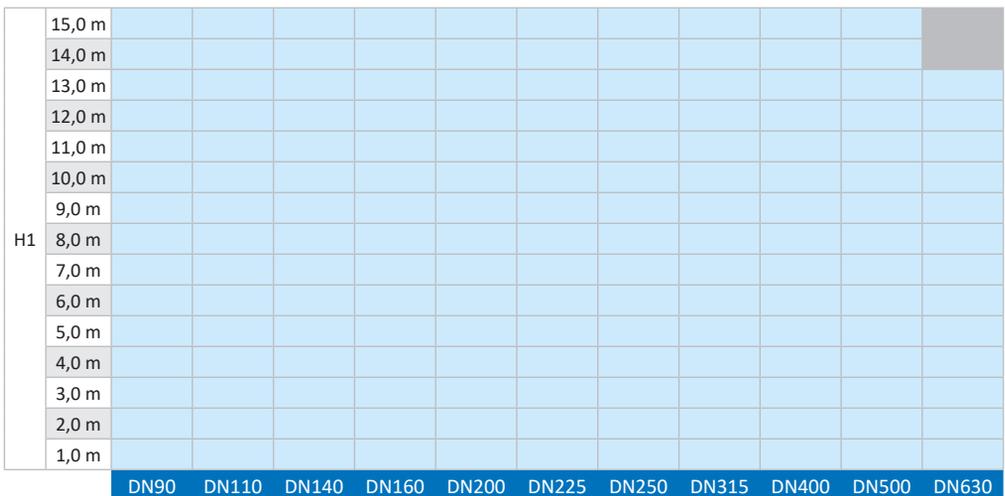
Estudio mecánico tubería PVC-O 500 a presión PN20 (presión de servicio = 17 bar) con tráfico ligero (2 ejes - 26 Tns) - Sin pavimento

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 mecánico tubería PVC-O 500 a presión PN20 (presión de servicio = 17 bar) con tráfico pesado (3 ejes - 60 Tns)



Estudio mecánico tubería PVC-O 500 a presión PN17 (presión de servicio = 17 bar) con tráfico pesado (3 ejes - 60 Tns) - Pavimentación: 15 cm de aglomerado asfáltico (Ef: 15000 N/mm²) + 20 cm. Zahorra (Ef= 20000 N/mm²)



• Condiciones generales

Tubo en zanja		
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)	Beta (β)	72
	Talud	V 3
		H 1
Presiones		
Nivel freático (H_f)	0,0	m
Presión exterior (P_e)	0,0	bar
Presión de servicio (P_s)	14,0	bar
Apoyo tipo A: cama continua de material granular		
2α	60	°
Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso específico. Terreno	20	kN/m ³
Tipo de terreno		
No cohesivo. Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino ($(\phi \leq 0,06$ mm) inferior al 5%		
Compactaciones (proctor normal)		
E_1	100%	
E_2, E_3, E_4	95%	



Tuberías de PVC-O TOM®

Aquí puedes acceder
al Programa de Cálculo
Mecánico: TOMCalculation





Estudio mecánico 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 mecánico 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



Cálculo mecánico (según UNE 53331 - veáse Anexo "Normativa y Referencias bibliográficas") - Tuberías 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 (H_a)	0,0	m
Presión exterior (P_e)	0,0	bar
Presión de servicio (P_s)	19,0	bar
Apoyo tipo A: cama continua de material granular		
2α	60	°
Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso específico. Terreno	20	kN/m ³
Tipo de terreno		
No cohesivo. Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino ($(\emptyset \leq 0,06 \text{ mm})$) inferior al 5%		
Compactaciones (proctor normal)		
E_1	100%	
E_2, E_3, E_4	95%	



Estudio mecánico tubería PVC-O 500 a presión PN25 (presión de servicio = 19 bar) sin tráfico

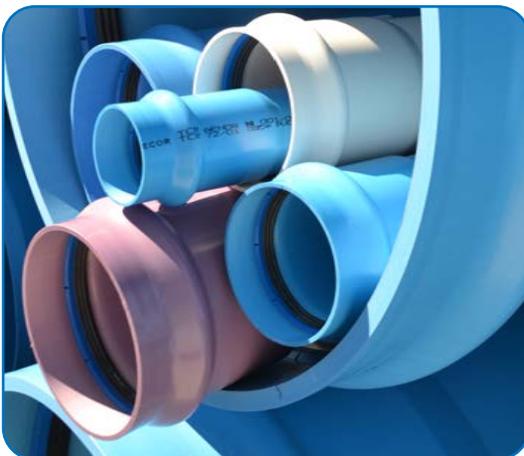
H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630

Estudio mecánico 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

• Condiciones generales

Tubo en zanja		
Clase de seguridad: A (coef. > 2,5)	Beta (β)	72
	Talud	V
		H
Presiones		
Nivel freático (H_f)	0,0	m
Presión exterior (P_e)	0,0	bar
Presión de servicio (P_s)	16,0	bar
Apoyo tipo A: cama continua de material granular		
2α	60	°
Relleno		
Relleno compactado por capas en toda la altura de la zanja peso específico. Terreno	20	kN/m ³
Tipo de terreno		
No cohesivo. Gravas y arenas sueltas. Porcentaje de fino ($(\phi \leq 0,06 \text{ mm})$) inferior al 5%		
Compactaciones (proctor normal)		
E_1	100%	
E_2, E_3, E_4	95%	



Tuberías de PVC-O TOM®

Aquí puedes acceder
al Programa de Cálculo
Mecánico: TOMCalculation





Estudio mecánico 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 mecánico tubería PVC-O 500 a presión PN25 (presión de servicio = 16 bar) con tráfico ligero (2 ejes - 26 Tns) - Sin pavimento

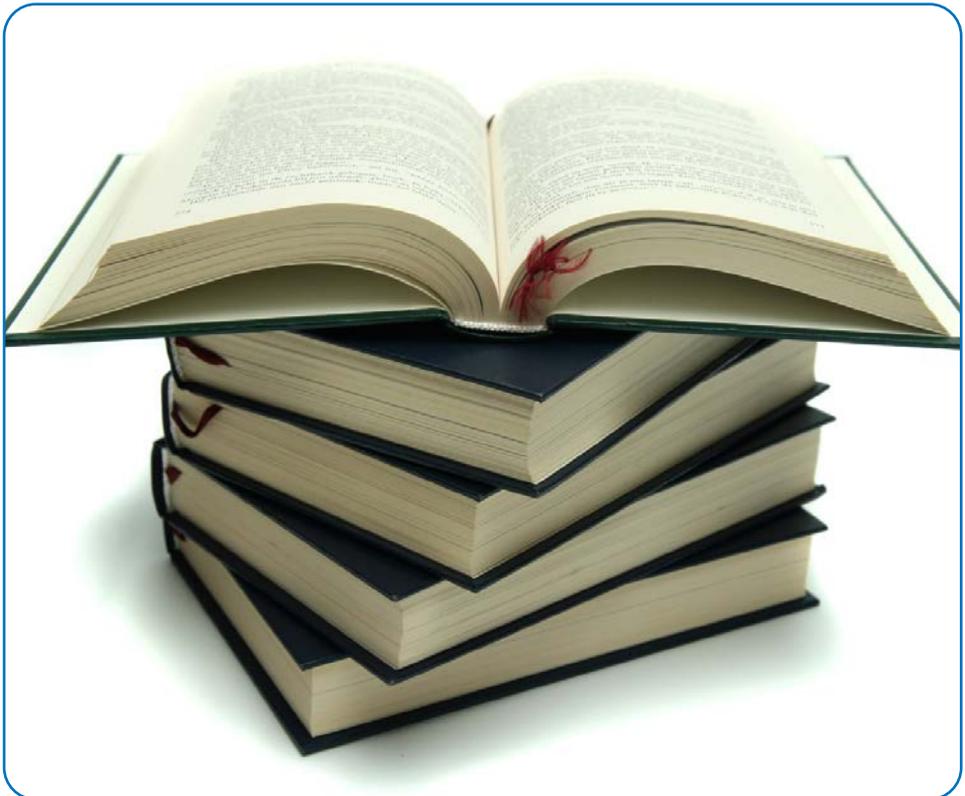
H1	15,0 m											
	14,0 m											
	13,0 m											
	12,0 m											
	11,0 m											
	10,0 m											
	9,0 m											
	8,0 m											
	7,0 m											
	6,0 m											
	5,0 m											
	4,0 m											
	3,0 m											
	2,0 m											
	1,0 m											
		DN90	DN110	DN140	DN160	DN200	DN225	DN250	DN315	DN400	DN500	DN630





9

Normativa y referencias bibliográficas





1. Normativa y certificaciones

- **ACS** - Attestation de Conformité Sanitaire. [Certificado de conformidad sanitaria Francia](#).
- **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](#).
- **Fascicule 71** - Fourniture et pose de conduites d'adduction et de distribution d'eau. [Suministro e instalación de red de aducción y distribución de agua](#).
- **Hydrocheck** - Certificat sanitaire HYDRODECK, (Belgique). [Certificado de conformidad sanitaria HYDRODECK \(Bélgica\)](#).
- **ISO 13845** - Plastics piping systems. Elastomeric-sealing-ring type socket joints for use with unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U) pipes. Test method for leak tightness under internal pressure and with angular deflection. [Sistemas de tuberías plásticas. Junta elastomérica tipo unión enchufe para uso con tuberías de Poli \(cloruro de vinilo\) no plastificado \(PVC-U\). Método de ensayo para la estanqueidad bajo presión interna y con desviación angular](#).
- **ISO 14001:2015** - Environmental management systems. Requirements with guidance for use. [Sistemas de control ambiental. Requisitos con guías de uso](#).
- **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. [Tubos termoplásticos. Determinación de la resistencia a los golpes externos](#).
- **ISO 9001:2015** - IQNET The International certification network. [IQNET Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos](#).



- **ISO/DTR 4191.2:2013** - Plastics piping systems for water supply and for buried and aboveground drainage and sewerage under pressure. Unplasticized poly(vinyl chloride)(PVC-U) and oriented PVC-U (PVC-O). Guidance for installation. [Sistemas de tuberías plásticas para abastecimiento de agua y drenaje enterrado y saneamiento bajo presión. Poli \(cloruro de vinilo\) no plastificado \(PVC-U\) y orientado \(PVC-O\). Guía para la instalación.](#)
- **ISO/TR 10358:1993** - Plastics pipes and fittings. Combined chemical-resistance classification table. [Tubos y accesorios plásticos. Tabla de clasificación de resistencia química combinada.](#)
- **NF EN 805** - Alimentation en eau - Exigences pour les réseaux extérieurs aux bâtiments et leurs composants. [Abastecimiento de agua. Requerimientos para las redes externas en edificios y sus componentes.](#)
- **NF T 54-034** - Réseaux de canalisations en polychlorure de vinyle non plastifié (PVC-U), polychlorure de vinyle chloré (PVC-C) et/ou polychlorure de vinyle orienté biaxial (PVC-BO) pour le transport sous pression de fluides gazeux. Règles de conception, choix des composants. [Redes de canalizaciones en Poli \(cloruro de vinilo\) no plastificado \(PVC-U\) y Poli \(cloruro de vinilo\) clorado y/o Poli \(cloruro de vinilo\) orientado biaxialmente \(PVC-BO\) para el transporte bajo presión de fluidos no gaseosos. Normas de diseño, elección de los componentes.](#)
- **NF T 54-948:2010** - Systèmes de canalisations en plastique pour le transport de l'eau sous pression. Tubes en 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.](#)
- **NOM-001-CONAGUA-2011** - Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba.
- **REAL DECRETO 140/2003** - Por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- **UNE 53331: 2020:** - Tuberías de Poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U), Poli(cloruro de vinilo) orientado (PVC-O), Polietileno (PE) y Polipropileno (PP). 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-CEN/TR 1295-3:2011 IN** - Cálculo de la resistencia mecánica de tuberías enterradas bajo diferentes condiciones de carga. Parte 3: Método común.
- **UNE-CEN/TS 17176-3:2019** - Sistemas de canalización en materiales plásticos para suministro de agua y para saneamiento, alcantarillado e irrigación enterrado o aéreo, con presión. Poli (cloruro de vinilo) no plastificado orientado (PVC-O) . Parte 3: Accesorios.
- **UNE-EN 1610:1998** - Instalación y pruebas de acometidas y redes de saneamiento.
- **UNE-EN 17176:2019** - Sistemas de canalización en materiales plásticos para suministro de agua, riego, saneamiento y alcantarillado, enterrado o aéreo, con presión. Poli(cloruro de vinilo) no plastificado orientado (PVC-O). Parte 1: Generalidades, Parte 2: Tubos y Parte 5: Aptitud al uso del sistema.
- **UNE-EN 805:2000** - Abastecimiento de agua. Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes.
- **UNE-EN ISO 9001:2015** - Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos.
- **UNE-ENV 1046:2002** - Sistemas de canalización y conducción en materiales plásticos. Sistemas de conducción de agua o saneamiento en el exterior de la estructura de los edificios. Práctica recomendada para la instalación aérea y enterrada.
- **UNE-ISO 14001:2015** - Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso.
- **UNE-ISO 16422:2015** - 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.](#)

2. Referencias bibliográficas

- Cátedra de Ingeniería Rural. **Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real.**

- 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. **Universidad 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.
- Cátedra de Ingeniería Rural. **Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real.**
- Manual técnico de conducciones de PVC – **ASETUB** (Asociación Española de Fabricantes de Tubos y Accesorios Plásticos).
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Tuberías de Abastecimiento de Agua - Orden del **M.O.P.** de 28 de julio de 1974.
- Tuberías de PVC. Manual Técnico - **ASETUB** (Asociación Española de Fabricantes de Tubos y Accesorios Plásticos).



Tuberías de PVC-O TOM®

Los dibujos, ilustraciones, características técnicas, así como los datos incluidos en las tablas y figuras de este documento no son contractuales. Molecor Tecnología, S.L se reserva el derecho de modificar las características de sus productos según las nuevas tecnologías de fabricación y la normativa vigente con vista a su mejora, sin previos aviso.





Notas

A series of horizontal dotted lines for taking notes.





TOM
ECO
FITTOM



SANECOR FR EVAC+ 

 T. + 34 949 801 459
F. + 34 949 297 409

sac@molecor.com

TOM 

 T. +34 911 337 088
F. + 34 916 682 884

www.molecor.com

info@molecor.com

Molecor© Junio 2022 MOLECOR®, TOM® y ecoFITTOM® son marcas registradas



ER-1644/2008



GA-2014-0250

