



Universidad
Politécnica
de Cartagena

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

Abastecimiento de aguas

TEMA 13
Materiales
de
conducciones

**Francisco Javier
Pérez de la Cruz**



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



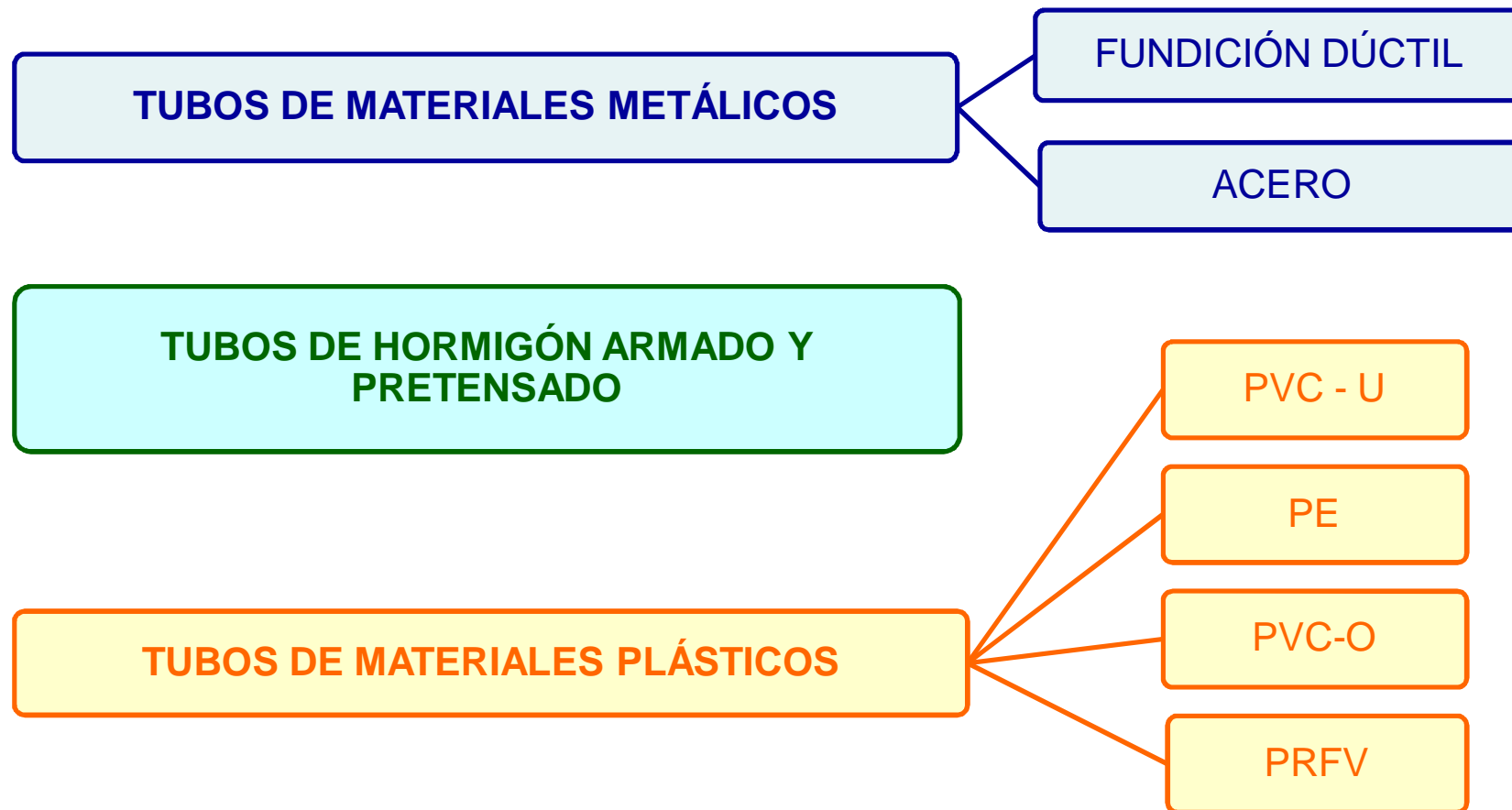
ÍNDICE

1. CLASIFICACIÓN
2. FUNDICIÓN DÚCTIL
3. ACERO
4. HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO
5. POLI (CLORURO DE VINILO) NO PLASTIFICADO (PVC – U)
6. POLIETILENO (PE)
7. POLI (CLORURO DE VINILO) CON ORIENTACIÓN MOLECULAR (PVC-O)
8. POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV)
9. BIBLIOGRAFÍA





1. CLASIFICACIÓN





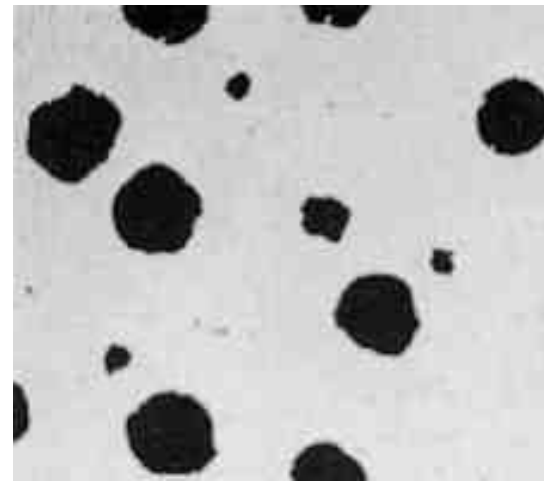
2. FUNDICIÓN DÚCTIL

La fundición dúctil es una aleación de hierro, carbono y silicio en la cual el carbono existe en estado puro bajo la forma de grafito esferoidal (también se conoce como fundición nodular o de grafito esferoidal).

A diferencia de la antigua fundición gris, en la cual el carbono se presentaba en forma de láminas y esto daba como resultado un material rompible, en la fundición dúctil el carbono (grafito) aparece como diminutas esferas que eliminan la propagación de fisuras haciendo que el material no sea frágil sino dúctil.



Fundición gris



Fundición dúctil



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



Los procedimientos de fabricación usuales de los tubos y las piezas especiales son los indicados a continuación:

a) Tubos

Colada por centrifugación en molde metálico, revestido o no

Colada por centrifugación en molde de arena

Colada en molde de arena

Colada en molde metálico

b) Piezas especiales

Colada en molde de arena

Colada en molde metálico



Tras la colada, los tubos y las piezas especiales pueden ser sometidos, si es necesario, a un tratamiento térmico que permita alcanzar las adecuadas características mecánicas.

Normativa para transporte de agua a presión → UNE – EN 545:2007



EJEMPLO

TUBERÍA DE FUNDICIÓN DÚCTIL

Abastecimiento de Écija (Sevilla)



Saint Gobain ® Standard K9 DN 1200 fabricada mediante centrifugación



Diámetro nominal

En los tubos de fundición, el diámetro nominal (DN) es, aproximadamente, el diámetro interior (ID).

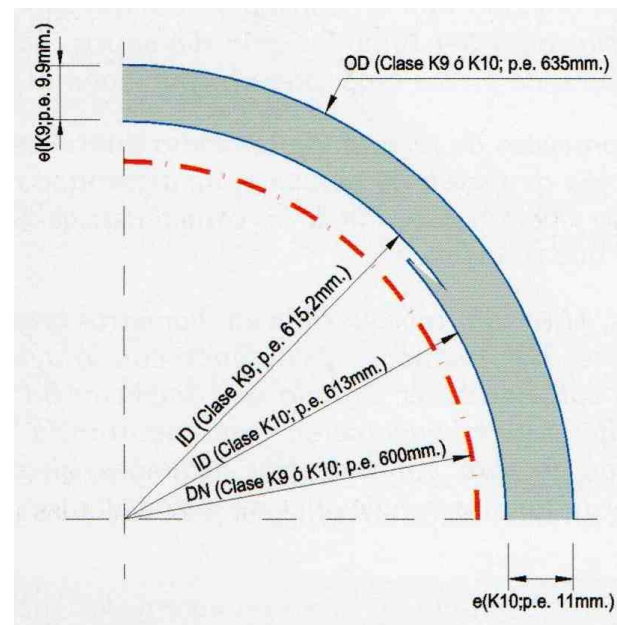
En estos tubos, por consideraciones de fabricación, para un determinado diámetro nominal (DN), el diámetro exterior (OD) es siempre fijo y el interior (ID) es variable (dependiendo del espesor de la fundición, del revestimiento empleado y de las tolerancias) siendo aproximadamente coincidente con el DN.

*Diámetros en los tubos
de fundición*

DN 600 mm

OD 635 mm

ID variable





Espesor

Para definir el espesor se utiliza un parámetro (la clase de espesor, K) que lo relaciona con el diámetro y sirve para clasificar los tubos.

Dicho espesor viene dado por la expresión:

$$e = K \cdot (0,5 + 0,001 \cdot DN)$$

K = 9 → Tubos unión flexible

K = 9, 10, 12, 14 → Tubos con bridas

K = 12, 14 → Piezas especiales

Ovalación

Se calcula en tanto por ciento mediante la siguiente expresión:

$$100 \cdot \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max} + D_{\min}}$$

siendo D_{\max} y D_{\min} los diámetros exteriores mayor y menor de la sección del tubo.



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



Presión nominal

El concepto de presión nominal en los tubos de fundición sólo se emplea en el caso de que se unan con bridas, en cuyo caso el valor de la PN corresponde con las presiones indicadas en el cuadro adjunto:

DN	PN 10			PN 16			PN 25			PN 40		
	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA
40 a 50	ver PN 40			ver PN 40			ver PN 40	4,0		4,8	5,3	
60 a 80	ver PN 16			1,6	2,0	2,5	ver PN 40		40	4,8	5,3	
100 a 150	ver PN 16			1,6	2,0	2,5	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8	5,3
200 a 600	1,0	1,2	1,7	1,6	2,0	2,5	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8	5,3
700 a 1.200	1,0	1,2	1,7	1,6	2,0	2,5	2,5	3,0	3,5	-	-	-
1.400 a 2.000	1,0	1,2	1,7	1,6	2,0	2,5	-	-	-	-	-	-

Presiones (N/mm²) en tubos de fundición con bridas (UNE-EN 545:2007)

PFA → Presión de funcionamiento admisible (de forma permanente)

PMA → Presión máxima admisible (en servicio, incluido golpe de ariete)

PEA → Presión de prueba en obra admisible (periodo corto sin fallos)

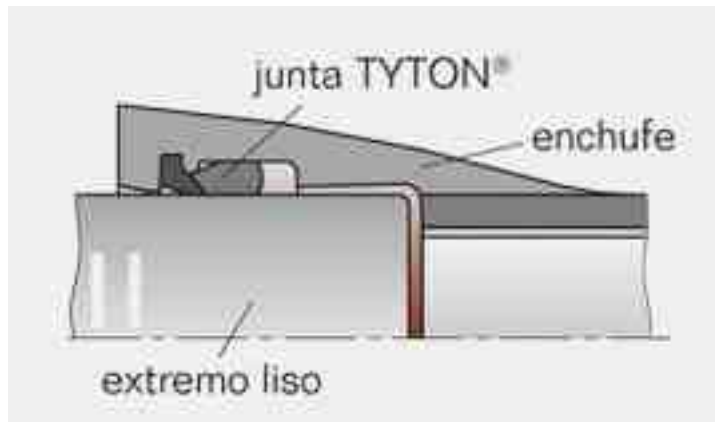


Uniones

Los tipos de uniones habituales en los tubos de fundición son las siguientes:

1) Uniones flexibles

- *Unión de enchufe y extremo liso* → Obtiene la estanquidad por la simple compresión de un anillo elastomérico (p. e. junta TYTON®)



- *Unión mecánica* → Los tubos a unir también está provistos de enchufe y extremo liso, sin embargo la estanquidad se logra en este caso por la compresión del anillo elastomérico mediante una contrabrida apretada con bulones que se apoyan en el collarín externo del enchufe.

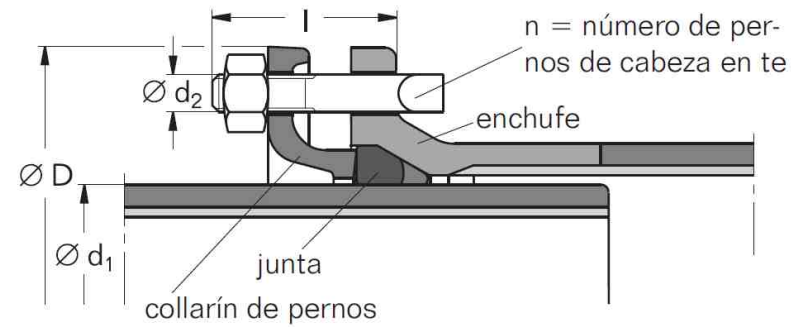


ABASTECIMIENTO DE AGUAS

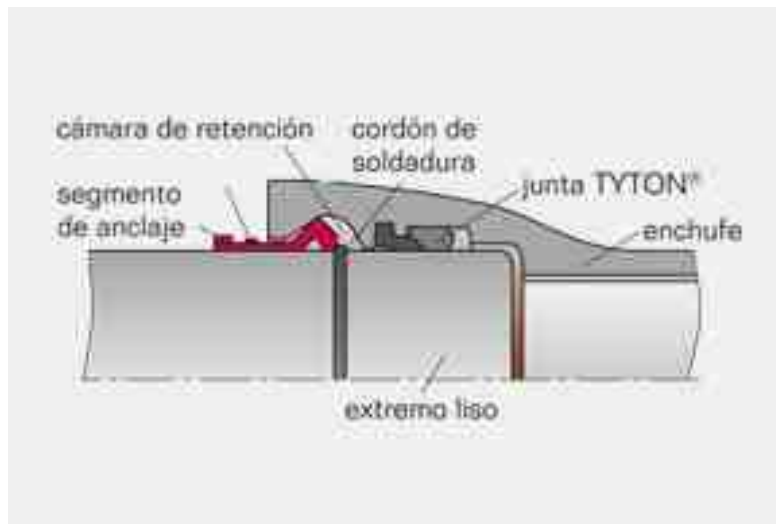
Tema 13. Materiales de conducciones



Unión mecánica



- *Unión acerrojada* → Para los casos en que se prevea que el tubo debe trabajar a tracción (p. e. junta BLS ®)





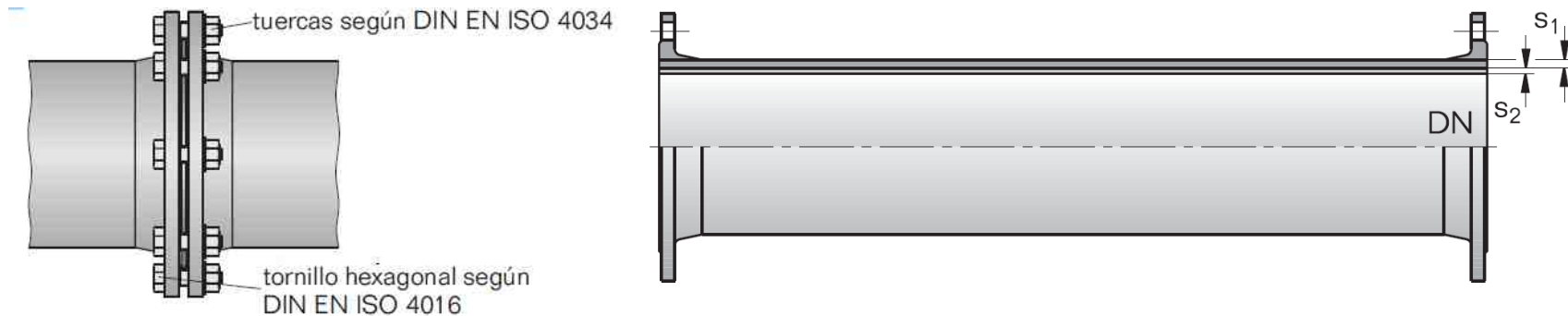
ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



2) Uniones rígidas → La unión se realiza mediante bridas

Las bridas pueden ser móviles (soldadas o roscadas) o fijas (incorporadas)



Las uniones, en general, deben cumplir las siguientes condiciones:

- Resistir permanentemente y sin fugas la presión máx. de diseño del tramo de tubería en la hipótesis de máximos desplazamientos admisibles en la unión.
- Ser estancas a una presión hidráulica interior negativa de $0,09 \text{ N/mm}^2$
- Resistir, sin entrada de agua, una presión hidrostática exterior de $0,2 \text{ N/mm}^2$ cuando esté previsto su uso a profundidades mayores de 5 m bajo el agua.



Clasificación

A la hora de clasificar los tubos de fundición se debe tener en cuenta el DN y la clase. Además, los tubos de fundición dúctil pueden estar unidos mediante unión flexible con anillo elastomérico o rígida con bridas siendo diferentes los parámetros de clasificación en ambos casos:

- 1) Tubos de unión flexible → Se clasifican por su DN y su clase de espesor K
- 2) Tubos con bridas → Se clasifican por su DN y por la PN de las bridas. A su vez, para cada PN y según las bridas sean roscadas, incorporadas o soldadas, los tubos serán en general de clase K9, K10 o K12



*Tubería de fundición dúctil K10
disponible en DN 800 - 2000*



Características técnicas

Excelente comportamiento ante las presiones hidráulicas interiores (hasta 40 bar) y la acción de cargas externas, por lo que su campo de aplicación engloba todo tipo de diámetros (hasta 2.000 mm) con presiones máx. de 3 o 4 N/mm².

Destaca su capacidad para ser cortados, taladrados y mecanizados con facilidad.

En diámetros grandes se comporta de forma flexible (importancia de las condiciones de instalación, cuidadosa ejecución del relleno) mientras que para diámetros pequeños el comportamiento es rígido.

Sus propiedades no se modifican con el tiempo (no sufre fluencia).

Densidad = 7.050 kg/m³

Módulo de elasticidad = 1,7 · 10⁵ N/mm²

Alargamiento en rotura = 5 – 10%

Coefficiente de dilatación = 1,2 · 10⁻⁵ m/m⁰C⁻¹



Revestimiento

Tanto los tubos como las piezas especiales deben protegerse de la corrosión, siendo los sistemas empleados:

- 1) Protección catódica → Consiste en la polarización negativa (conversión en cátodo) de la estructura respecto al medio corrosivo donde se encuentra mediante una corriente externa. Existen diferentes formas de aplicar esta protección, siendo la más habitual la disposición de ánodos de sacrificio (la tubería a proteger se conecta a un metal más electronegativo que el del tubo, formando una pila y consiguiendo, con el sacrificio del metal añadido, salvar el material de la tubería)
- 2) Protección mediante revestimientos → Tanto en el exterior del tubo (cinc metálico con capa de acabado, polietileno, poliuretano) como en el interior (mortero de cemento, pintura...)

La protección catódica se basa en garantizar que la tubería sea eléctricamente continua, por lo que si se instalan uniones flexibles deberán disponerse en las uniones sistemas que eviten dicha discontinuidad (puentes, etc.). La protección mediante revestimientos puede emplearse para todo tipo de unión.



EJEMPLO

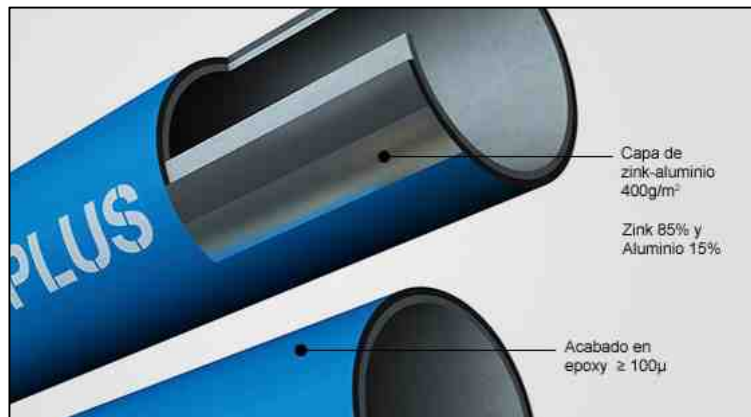
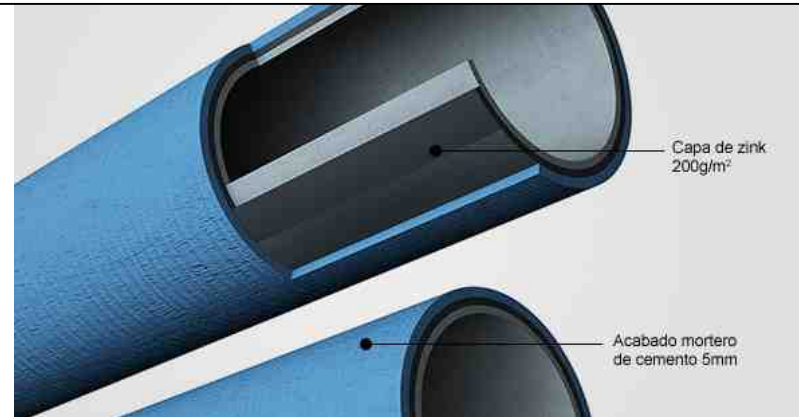
REVESTIMIENTOS FUNDICIÓN DÚCTIL

Construtec duktil, S.L.

Recubrimiento exterior ZMU

Disponible en DN 80 -1000 con espesor de pared K9 y superior.

Adecuado para todo tipo de terrenos conflictivos



Recubrimiento exterior Zink-PLUS®

Disponible en DN 80 -1000 con espesor de pared K9 y superior.

Completa gama de uniones y accesorios



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



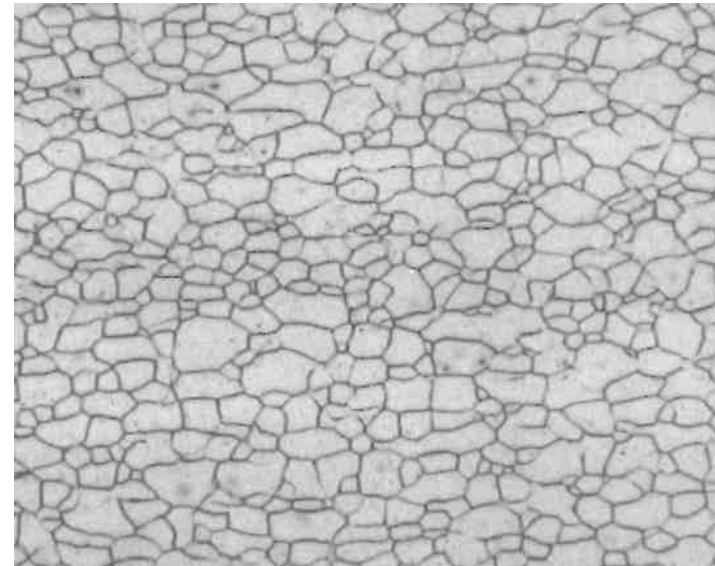
3. ACERO

Las tuberías de acero son de aplicación especialmente en casos de altas presiones y cubren la gama de diámetros desde 168 mm hasta 2.540 mm.

El acero empleado en su fabricación debe ser del tipo no aleado y completamente calmado, pudiendo ser sometido a tratamiento térmico.

***Acero aleado** → Aquel al que se le ha añadido una variedad de elementos químicos (en peso del 1% al 50%) para mejorar sus propiedades mecánicas (manganeso, níquel, cromo...). Todo acero es en realidad una aleación, pero no todos los aceros son "aceros aleados"*

***Acero calmado** → Acero que ha sido completamente desoxidado antes de colarlo, mediante la adición de metales. Con este procedimiento se obtienen lingotes perfectos, ya que casi no hay producción de gases durante la solidificación, lo que impide que se formen sopladuras*



*Estructura granular
del acero*



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



En general, los tubos pueden ser de los siguientes tipos:

a) Tubos sin soldadura

Obtenidos por extrusión de un producto macizo (lingote, palanquilla o barra) y posterior laminado o estirado, en caliente o frío. También pueden obtenerse por colada centrifugada. En general, el diámetro exterior de estos tubos < 200 mm.

b) Tubos soldados

Son los obtenidos por conformación de un producto plano laminado en caliente o en frío hasta conseguir una sección circular y posterior soldado de sus bordes. Según el procedimiento de soldadura empleado los tubos pueden ser:

- Soldados a tope por presión (soldadura longitudinal)
- Soldados por arco sumergido (soldadura longitudinal + helicoidal)
- Soldados por inducción o resistencia eléctrica (sold long + helic)

Normativa para transporte de agua a presión → UNE – EN 10224:2003



EJEMPLO

TUBERÍA DE ACERO HELICOSOLDADA

Desalinizadora de Valdelentisco (Murcia)





Diámetro nominal

En los tubos de acero, el diámetro nominal (DN) se refiere al diámetro exterior (OD).

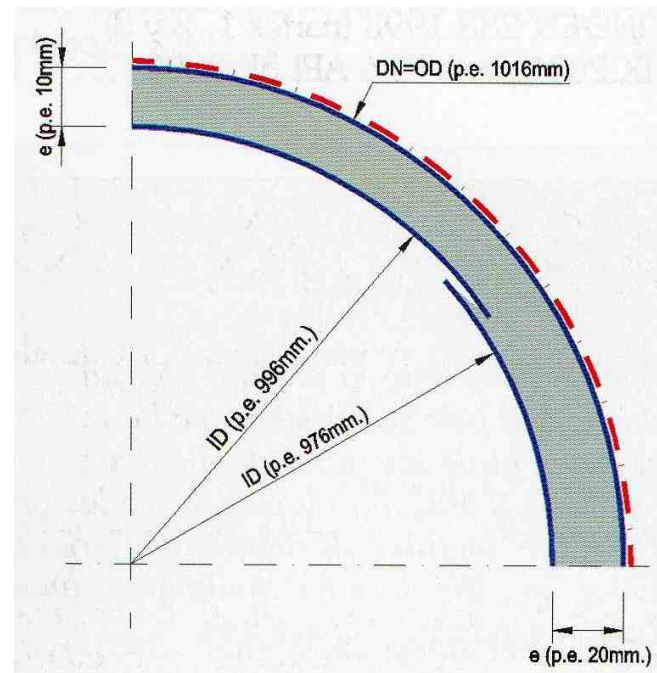
Para un mismo diámetro nominal (DN) los tubos admiten ser fabricados en distintas gamas de espesores, de modo que para una misma capacidad hidráulica, la resistencia mecánica del tubo sea variable.

*Diámetros en los tubos
de acero*

DN 1.016 mm

OD 1.016 mm

ID variable





Ovalación

Se calcula en tanto por ciento mediante la siguiente expresión:

$$100 \cdot \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max} + D_{\min}}$$

siendo D_{\max} y D_{\min} los diámetros exteriores mayor y menor de la sección del tubo

Presión nominal

El concepto de presión nominal en los tubos de acero sólo se emplean en el caso de que se unan con bridas, en cuyo caso, el valor de la PN corresponde a la máxima presión de diseño que el tubo puede resistir.

Como lo más habitual en estos tubos es instalarlos con uniones soldadas, habitualmente no se utiliza el concepto de PN.



Uniones

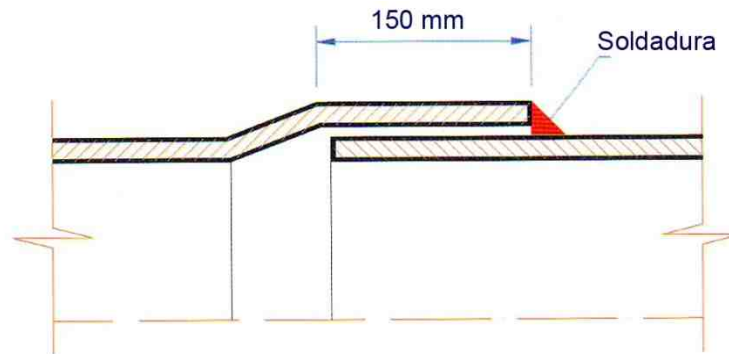
Los tubos de acero pueden estar provistos de diferentes tipos de uniones, siendo las más habituales las siguientes:

1) Uniones flexibles → Unión de enchufe y anillo elastomérico (poco empleada)

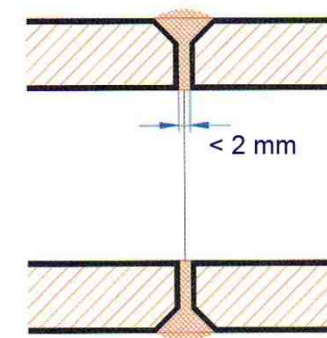
2) Uniones rígidas

- Uniones soldadas → Mediante manguito, a tope, con embocadura (junta abocardada), siendo estas dos últimas muy utilizadas en grandes diámetros.

- Uniones con bridas (para diámetros pequeños, < 400 mm)



Unión abocardada



Unión soldada a tope



EJEMPLO

BRIDAS PARA TUBOS DE ACERO

Hawle ®

Material:

Brida:
fundición dúctil o gris
revestida en epoxy

Retén obturador:
elastómero, apto para
agua potable



*Brida especial de doble cámara
Ref. 7101*

Material:

- 1 Brida: fundición dúctil, revestida en epoxy
- 2 Anillo de cierre: acero 1.0037 endurecido
- 3 Retén obturador: elastómero, apto para agua potable
- 4 Anillo tensor: fundición gris
- 5 Junta: elastómero, apto para agua potable



*Brida especial autoblocante
Ref. 7601*



Clasificación

Los tubos de acero se clasifican por el diámetro nominal (DN), por el espesor nominal (e) y por el tipo de acero empleado (por el valor de su límite elástico).

Ejemplo → Tubería de acero L 275 de DN 660 y espesor 8,7





Características técnicas

El excelente comportamiento de estos tubos ante la presión hidráulica interior hace que su campo habitual de aplicación sea el de los tubos de diámetros medios y grandes (por encima de 500 mm y hasta 2.500 mm) y elevadas presiones interiores (incluso 10 N/mm^2 en tubos de diámetro inferior a 1.000 mm).

Habitualmente se emplean tubos soldados helicoidalmente bien por inducción o por arco sumergido.

Debido a la gran variedad de aceros y espesores, es fácil adaptar estos tubos a las exigencias concretas de cada red, sin sobredimensionamientos excesivos.

Densidad = 7.850 kg/m^3

Módulo de elasticidad = $2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

Alargamiento en rotura = 10 – 24%

Coefficiente de dilatación = $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/m}^\circ\text{C}^{-1}$



Revestimiento

Todos los tubos y piezas especiales de acero deben contar con un sistema de protección contra la corrosión, tanto exterior como interior, que asegure la adecuada protección frente al medio en que se encuentre.

Los sistemas de protección se clasifican en dos grupos:

a) Protección catódica

b) Protección mediante revestimientos

- Revestimientos para exterior o interior → Metálicos, resinas epoxy, mortero de cemento
- Revestimiento exterior → Materiales plásticos (polietileno, poliuretano, poliolefinas...), tratamiento ultravioleta

En cualquier caso, se recomienda siempre, al menos, una protección mediante revestimientos, debiendo disponerse además, cuando sean previsibles problemas de corrosión significativos (especialmente en el caso de grandes diámetros) sistemas de protección catódica.



EJEMPLO

REVESTIMIENTO EXTERNO FBE

(Resina Epoxy adherida por Fusión)



1) *Aplicación
del
recubrimiento*



2) *Enfriamiento
del
recubrimiento*



3) *Medición
del espesor*



4) *Detección de
discontinuidades*





EJEMPLO

RECUBRIMIENTO POR RAYOS UV

Ven Spray Pipe (Venjakob ®)





4. HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO

Debido a la escasa resistencia a tracción del hormigón, no se pueden utilizar tubos de hormigón en masa para transporte de agua a presión, siendo necesario recurrir al hormigón armado (con armaduras activas o pasivas).

Los tubos de hormigón son utilizados habitualmente para grandes diámetros (normalizados hasta diámetros de 4.000 mm) y en presiones medias y elevadas.

En general, los tubos de hormigón se pueden clasificar en:

- a) Tubos de hormigón armado sin camisa de chapa (THAsCCh) → Formados por una pared de hormigón con una o dos capas de armadura transversal.
- b) Tubos de hormigón con armadura difusa, sin camisa de chapa (THD) → Formados por una pared de hormigón con una o más capas de armadura transversal y longitudinal, formadas por alambres < 2 mm de diámetro.
- c) Tubos de hormigón armado con camisa de chapa (THAcCCh) → Formados por una pared de hormigón y armadura transversal, compuesta por una o más jaulas cilíndricas y una camisa de chapa de acero soldada que garantiza la estanqueidad.



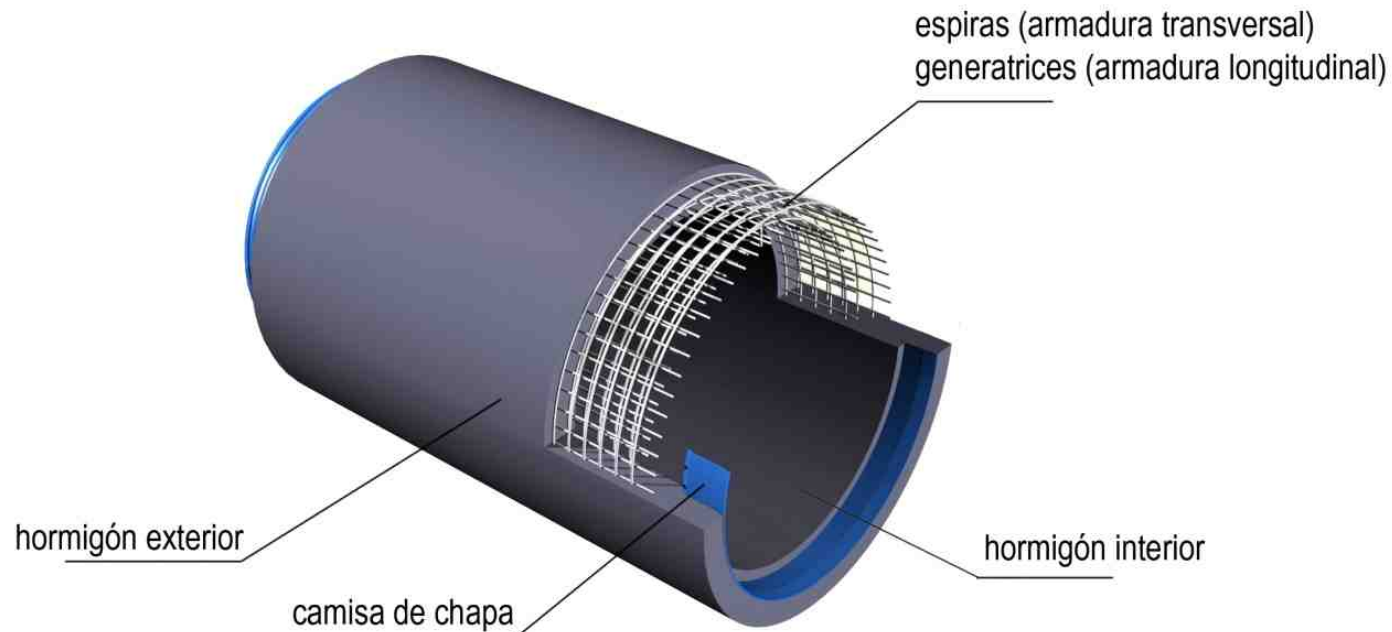
ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



Normalmente, la camisa de chapa está situada más próxima al paramento interior que las armaduras.

Entre el paramento exterior y la camisa pueden disponerse armaduras transversales y longitudinales o un mallazo, dependiendo del diámetro del tubo.





ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



- d) Tubos de hormigón pretensado sin camisa de chapa (THPsCCh) → Formados por un núcleo de hormigón que confiere estanqueidad, que contiene armaduras activas o pasivas longitudinales y un alambre de acero de alta resistencia que se enrolla helicoidalmente alrededor del núcleo, pretensado a una tensión fijada que se denomina “tensión de zunchado” (tipología en desuso)
- e) Tubos de hormigón pretensado con camisa de chapa (THPcCCh) → Misma disposición que los THPsCCh salvo por la existencia de una camisa de chapa que confiere estanqueidad.

En función del revestimiento, se distinguen dos tipos:

- 1) *De camisa revestida* → El núcleo está formado por un tubo de chapa de acero revestido interiormente de hormigón, de tal modo que el alambre de acero de alta resistencia apoya directamente sobre la superficie exterior de la chapa.
- 2) *De camisa embebida* → El núcleo está formado por un tubo de chapa acero revestido interior y exteriormente de hormigón, de tal modo que el alambre de alta resistencia apoya directamente sobre el recubrimiento exterior de hormigón (ver figura siguiente).



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



Para timbrajes muy altos, el empleo de tuberías de hormigón armado con camisa de chapa obligaría a utilizar unas cuantías de acero y unos espesores de recubrimiento de hormigón tales que las haría inviables. Es por ello que se recurre a la solución de utilizar el acero postesado, a fin de soportar mayores presiones con menores cuantías de material, por lo

que su utilización es recomendada para conducciones sometidas a presiones de moderadas a muy altas.

Las piezas especiales a intercalar en tuberías de hormigón armado y/o pretensado suelen ser de hormigón armado con camisa de chapa, de acero o, excepcionalmente, de otros materiales.



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



Los procedimientos de fabricación para estos tubos son los indicados a continuación, si bien también pueden emplearse combinaciones de los mismos, siempre que se garantice la homogeneidad y calidad del producto acabado:

- Centrifugación
- Compactación por compresión radial
- Vertido en moldes verticales y vibración
- Regla vibrante
- Proyección

Dado que existen diferentes tipologías de tubos de hormigón, existe una normativa específica para cada uno de ellos:

- Normativa común para tubos de presión de hormigón, incluyendo juntas y accesorios → UNE – EN 639:1995
- Normativa para THAsCCh → UNE – EN 640:1995
- Normativa para THAcCCh → UNE – EN 641:1995
- Normativa para THPsCCh y THPcCCh → UNE – EN 642:1995



EJEMPLO

TUBERÍAS DE HORMIGÓN

Pabellón de AFTHAP (SMAGUA, 2006)



*Tubo de hormigón armado con
camisa de chapa de acero*



*Tubo de hormigón postesado con
camisa de chapa de acero revestida*



EJEMPLO

TUBERÍA HA_cCC_h DE JUNTA SOLDADA

Sifón de Artajona (Canal de Navarra)





Diámetro nominal

En los tubos de hormigón, el diámetro nominal (DN) se refiere al diámetro interior (ID).

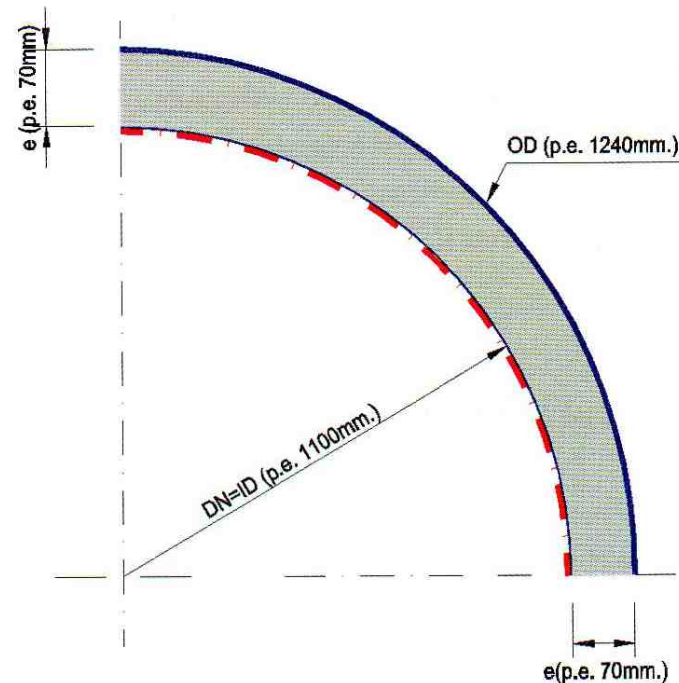
Para un mismo diámetro nominal (DN) los tubos admiten ser fabricados en distintas gamas de espesores, de modo que para una misma capacidad hidráulica, la resistencia mecánica del tubo sea variable.

*Diámetros en los tubos
de hormigón*

DN 1.100 mm

ID 1.100 mm

OD 1.240 mm





Ovalación

En los tubos de hormigón es la diferencia entre el diámetro interior (ID) máximo y mínimo en una misma sección recta del tubo.

Clasificación

La clasificación de los tubos se realiza en base a:

- Tipo de tubo
- Diámetro nominal (DN)
- Presión máxima de diseño (MDP) que resistan

En cualquier caso, los tubos de hormigón armado o pretensado no quedan unívocamente clasificados con el diámetro nominal y la presión máxima de diseño que soportan, puesto que para un mismo tubo podrían variar parámetros tales como el espesor, disposición de armaduras, cuantía, etc. Por ello, la total y completa definición de estos tubos deberá quedar reflejada en los planos y demás documentos del proyecto. En los tubos de hormigón, por tanto, la clasificación de los mismos es completamente diferente a como se hace en el resto de materiales.



Características técnicas

Los materiales a emplear en los tubos de hormigón armado y pretensado (cemento, agua, áridos, aditivos, acero para armaduras y chapas...) deben cumplir con lo especificado por la vigente EHE.

Entre sus ventajas destaca que al no fabricarse bajo determinadas series normalizadas permiten una gran adaptación a las necesidades de cada proyecto, sin excesivos sobredimensionamientos, con el problema de que el proceso de fabricación puede resultar menos estandarizado.

Al ser un tubo rígido, el propio tubo es quien resiste las sollicitaciones sin contar con la ayuda del relleno, por lo que no se producen deformaciones ni roturas frágiles, aunque cobra una gran importancia el problema de la fisuración.

Densidad = en torno a 2.350 kg/m^3

Módulo de elasticidad = $2 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente de dilatación = $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/m}^\circ\text{C}^{-1}$



Uniones

Los tipos de uniones habituales en los tubos de hormigón son las siguientes:

- 1) Uniones rígidas → Uniones soldadas con protección anticorrosiva posterior tanto exterior como interior (p. e. mediante recubrimiento de mortero de cemento).

Para $DN < 800$ mm la soldadura se efectuará por la parte exterior de la unión, mientras que para $DN \geq 800$ mm se puede realizar por el exterior o el interior, pero nunca por ambas.

- 2) Uniones flexibles con anillo elastomérico → Estas uniones pueden realizarse mediante boquillas metálicas situadas en los extremos del tubo entre las que se aloje el anillo elastomérico, o bien sin dichas boquillas, colocándose el anillo directamente en contacto con el hormigón de los tubos.

En ambos casos, la unión puede realizarse con terminación en enchufe y extremo liso o a media madera, siendo más recomendable, en general, que se disponga de boquillas, salvo en el caso de bajas presiones.

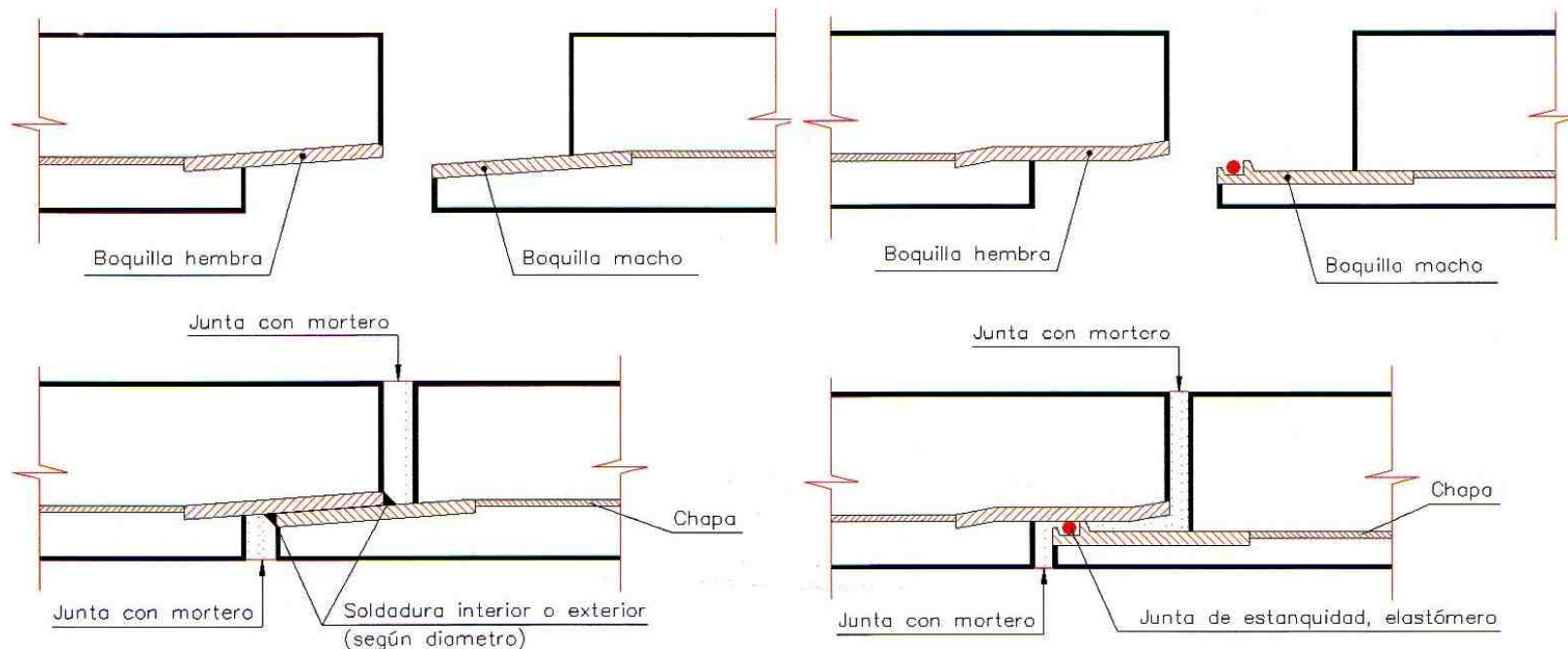


ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



Como criterio general, si son de prever acciones sísmicas deben emplearse uniones flexibles y si hay muchos cambios de trazado en la conducción, las uniones rígidas evitan el tener que disponer los correspondientes macizos de anclaje.



Uniones rígidas (izquierda) y flexibles (derecha) en los tubos de hormigón



5. POLI (CLORURO DE VINILO) NO PLASTIFICADO (PVC – U)

Los tubos de PVC-U están compuestos de una resina de poli (cloruro de vinilo) no plastificado (material termoplástico) con aditivos tales como lubricantes, estabilizantes, colorantes, etc. estando normalizados para dimensiones de hasta 1.000 mm de DN y presiones de 2,5 N/mm² (ésta sólo para diámetros pequeños).

Los materiales plásticos pueden ser:

- 1) Termoplásticos → *Pueden cambiar su forma una o varias veces por la acción combinada de un aumento de la temperatura y la presión (de forma que cuando la temperatura aumenta se reblandecen y al enfriar se endurecen)*
- 2) Termoestables → *Aquellos que durante su fabricación se opera una reacción química irreversible que impide cambiar de forma a las piezas realizadas*

El procedimiento de fabricación usual de los tubos es la extrusión (140°) mientras que las piezas especiales se fabrican, en general, por inyección en moldes o bien mediante manipulación partiendo del tubo.

Normativa para transporte de agua a presión → UNE – EN 1452:2000



Diámetro nominal

En los tubos de PVC-U, el diámetro nominal (DN) se refiere al diámetro exterior (OD).

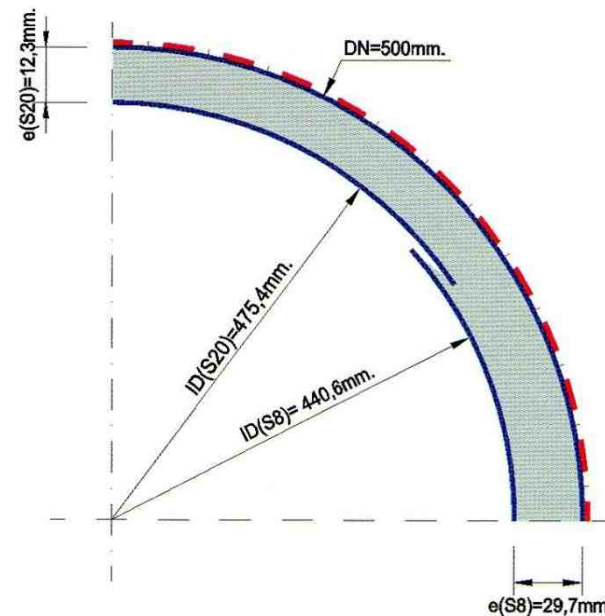
Para un mismo diámetro nominal (DN) los tubos admiten ser fabricados en distintas gamas de espesores, de modo que para una misma capacidad hidráulica, la resistencia mecánica del tubo sea variable.

*Diámetros en los tubos
de PVC-U*

DN 500 mm

OD 500 mm

ID variable





Serie

La serie (S) es un parámetro adimensional que permite clasificar los tubos relacionando el radio medio teórico (r_m) y el espesor nominal (e).

$$S = r_m / e$$

$$r_m = (DN - e) / 2$$

Relación de dimensiones estándar

Es la relación (SDR) entre el diámetro nominal y el espesor nominal (e):

$$SDR = DN / e$$

$$S = (SDR - 1) / 2$$

Los posibles valores normalizados de S y SDR figuran en la norma ISO 4065:1996. De ellos, los más utilizados son los siguientes (los que no tienen paréntesis son los normalizados en UNE-EN)

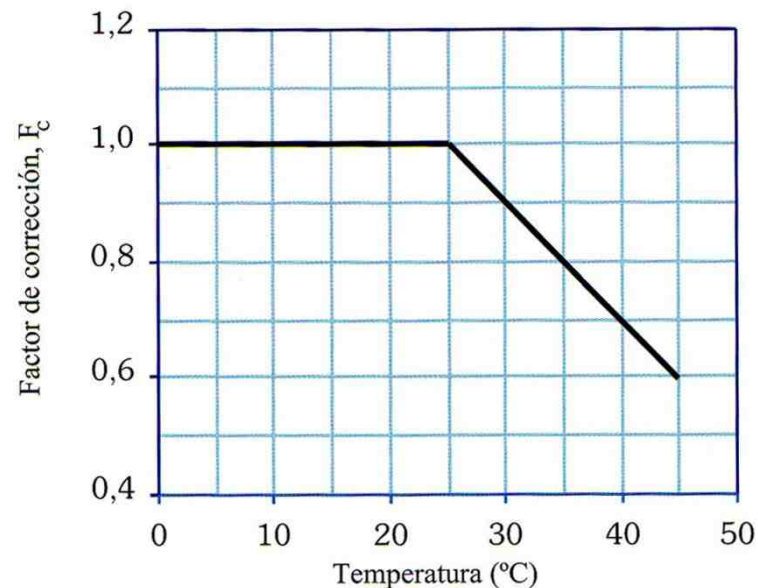
S	20,0	16,0	13,3	12,5	(10,5)	10,0	(8,3)	8,0	6,3	5,0	(4,0)	(3,2)
SDR	41,0	33,0	27,6	26,0	(22,0)	21,0	(17,6)	17,0	13,6	11,0	(9,0)	(7,4)



Presión nominal

Es el valor que coincide con la presión de diseño en utilización continuada durante 50 años (largo plazo) a una temperatura de servicio de 25°C. Para otras temperaturas del agua, la PN será la resultante de dividir por el factor de corrección F_c .

En el cuadro adjunto se indican los valores de las PN y su relación con las presiones hidráulicas (a 25°C) según la UNE-EN 1452:2000.



<i>PN</i>	<i>PFA (N/mm²)</i>	<i>PEA (N/mm²)</i>
6,0	0,60	0,90
7,5	0,75	1,13
8,0	0,80	1,20
10,0	1,00	1,50
12,5	1,25	1,75
16,0	1,60	2,10
20,0	2,00	2,50
25,0	2,50	3,00



Ovalación

En los tubos de PVC-U es la diferencia entre el diámetro exterior (OD) máximo y mínimo en una misma sección recta del tubo.

Rigidez circunferencial específica

La rigidez circunferencial específica (S_c , en N/mm²) es una característica mecánica del tubo que representa su rigidez a flexión transversal por unidad de longitud del mismo a corto (S_0) o a largo plazo (S_{50}). Se define mediante la siguiente expresión:

$$S_c = EI / D_m^3 \quad I = e^3 / 12 \quad D_m = DN - e$$

E → Módulo de elasticidad a flexión circunferencial (N/mm²)

e → Espesor nominal de la pared del tubo (mm)

I → Momento de inercia de la pared del tubo por unidad de longitud (mm³)

EI → Factor de rigidez transversal (N·mm)

D_m → Diámetro medio teórico del tubo (mm)



Rigidez nominal

La rigidez nominal (SN) es un valor que coincide aproximadamente con la rigidez circunferencial específica a corto plazo (S_0) expresada en kN/m^2 .

	S 20 (SDR 41)	S 16,7 (SDR 34,4)	S 16 (SDR 33)	S 12,5 (SDR 26)	S 10 (SDR 21)	S 8 (SDR 17)	S 6,3 (SDR 13,6)	S 5 (SDR 11)
S_0 (kN/m^2)	3,9	6,7	7,6	16	31,3	61	125	250
SN (kN/m^2)	4	8	--	16	32	--	--	--

Límite inferior de confianza

Este límite (LCL, *Lower Limit Confidence*) es la cantidad expresada en MPa que representa el límite inferior de confianza al 97,5% de la resistencia hidrostática a largo plazo prevista para el agua a 20°C durante 50 años.

El concepto de LCL equivale, aproximadamente, a la resistencia mínima a tracción que el material tendrá a largo plazo (no debe olvidarse que en estos tubos esta propiedad disminuye con el paso de los años).



Tensión mínima requerida

Esta tensión (MRS, *Minimun Requiered Strenght*) es el valor del LCL aproximado por defecto al número más próximo de la serie R20 de los números de Renard (progresión geométrica de razón variable, en este caso, la raíz vigésima de 10).

Serie R20 de los números de Renard

1 - 1,12 - 1,25 - 1,4 - 1,6 - 1,8 - 2 - 2,24 - 2,5 - 2,8 - 3,15 - 3,55 - 4 -
4,5 - 5 - 5,60 - 6,3 - 7,1 - 8 - 9 - 10 - 11,2 - 12 - 14 - 16 - 18 - 20 - 22,4 - 25 - 28 - 32 - 35,5 - 40
44 - 50 - 56 - 63 - 71 - 80 - 90 - 100

Tensión de diseño

La tensión de diseño (σ_s) es la tensión a tracción admisible del material. Se determina dividiendo la Tensión Mínima Requerida (MRS) por un coeficiente de seguridad (C) denominado coeficiente de diseño, el cual deberá ser seleccionado de entre alguno de los siguientes (serie R20 de los Números de Renard): 1,12 – 1,25 – 1,40 – 1,60 – 1,80 – 2,00 – 2,24 – 2,50 – 2,80

$$\sigma_s = \frac{MRS}{C}$$



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones

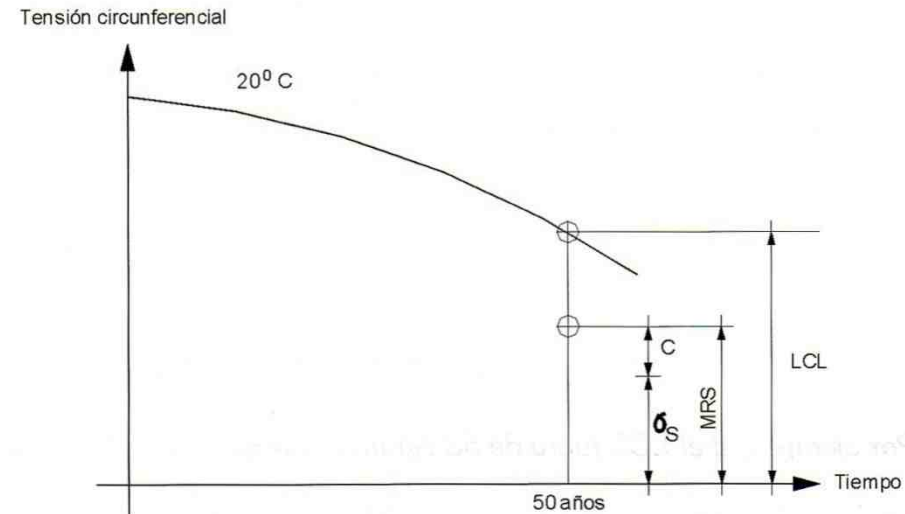


Se comprueba que la PN, σ_s y S se relacionan de la siguiente forma, partiendo de la siguiente fórmula básica de resistencia de materiales para tuberías:

$$PN = (2 \cdot e \cdot \sigma_s) / DN$$

$$PN = \sigma_s / S$$

La relación entre estos parámetros (LCL, MRS, C, σ_s) viene dada por la figura:



Clasificación

Los tubos de PVC-U se clasifican por su DN y su PN.

No obstante, al estar directamente relacionada la PN con la serie S y con la relación SDR se podría utilizar alguno de estos dos parámetros alternativamente a la PN (en la actualidad lo más usual es clasificar con el DN y la PN, la tendencia en el futuro es a realizar esta clasificación con el DN y el SDR)



Características técnicas

El campo habitual de utilización de estos tubos es el de los diámetros pequeños y medianos (máx. 700 mm, siendo habituales 400 – 630 mm) y presiones moderadas (1 o 1,5 N/mm²).

Entre sus ventajas debe citarse su ligereza (con la consiguiente simplificación de la instalación), su baja rugosidad (mayor capacidad hidráulica) y su elevada resistencia al ataque químico. En cambio, destaca su elevado coeficiente de dilatación térmica y la disminución con el tiempo de la resistencia y el módulo de elasticidad, por lo cual se dimensionan para la resistencia que tendrán en 50 años (a corto plazo están sobredimensionados).

Densidad = 1.350 – 1.460 kg/m³

Módulo de elasticidad = 1.750 – 3.000 N/mm²

Alargamiento en rotura = 80%

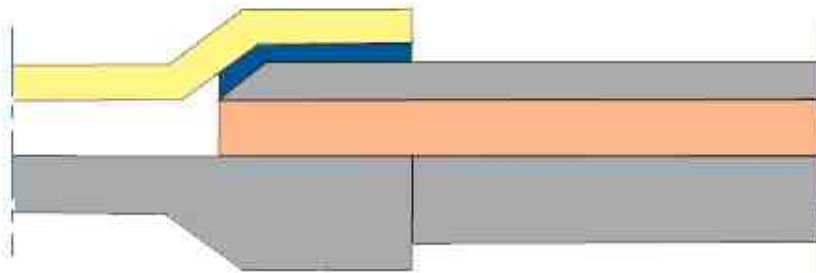
Coeficiente de dilatación = $8 \cdot 10^{-5}$ m/m°C⁻¹



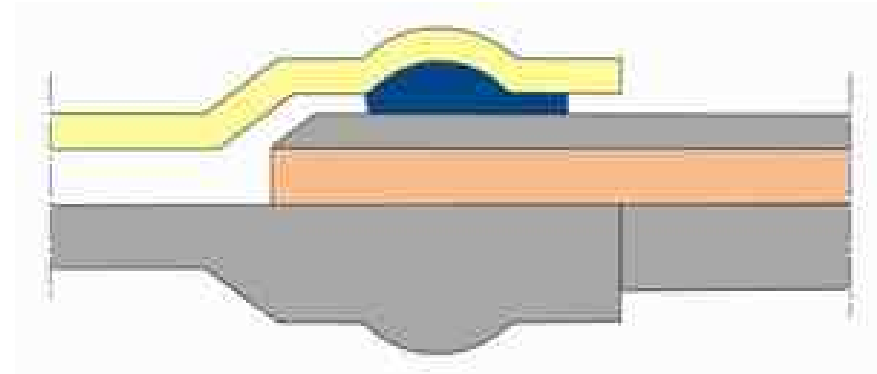
Uniones

Los tipos de uniones habituales en los tubos de PVC-U son las siguientes:

- Unión encolada
- Unión elástica con anillo elastomérico (las más empleadas)
- Unión mecánica (Gibault, etc.)
- Unión con bridas (metálicas o de plástico)



Unión encolada



Unión elástica con anillo elastomérico



EJEMPLO

MONTAJE UNIÓN ENCOLADA



1. Achaflanar, redondear y desbarbar el tubo. Marcar en el tubo la distancia a introducir en la unión.



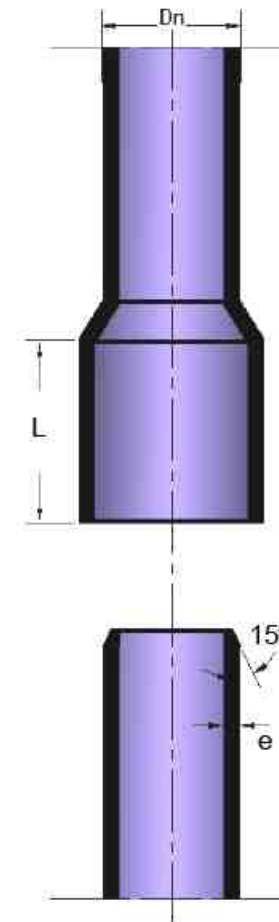
2. Limpiar el interior y el exterior. Aplicar adhesivo en la embocadura y en la zona marcada extremos a unir.



3. Introducir longitudinalmente el tubo en la unión sin girar.



4. Retirar y limpiar el adhesivo sobrante. Esperar el tiempo recomendado para el secado.





EJEMPLO

MONTAJE UNIÓN ELÁSTICA



1. Marcar en el tubo la distancia a introducir en la unión, y limpiar el interior de la copa y el tubo a unir.



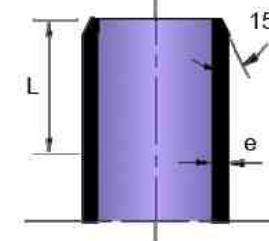
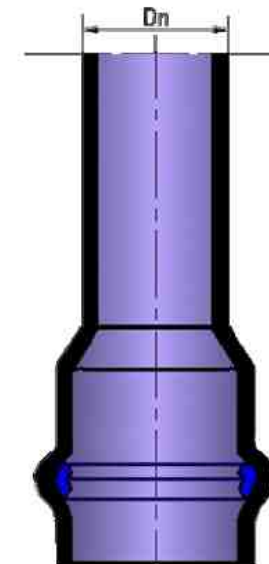
2. Colocar la junta elástica correctamente



3. Aplicar jabón neutro en la zona marcada para facilitar la unión.



4. Introducir el tubo dentro de la copa del otro, prestando especial atención en la correcta alineación de los ejes de ambos tubos, para evitar mover la junta elástica.





EJEMPLO

UNIONES PVC-U



Unión Gibault



Unión con bridas



6. POLIETILENO (PE)

El PE se obtienen a partir de la polimerización del etileno mediante resinas de polietileno (material termoplástico), negro de carbono o pigmentos y aditivos tales como antioxidantes, estabilizadores o colorantes.



Los tubos de PE están normalizados para dimensiones de hasta 1.600 mm de DN y presiones de 2,5 N/mm² (ésta sólo para diámetros pequeños).

El procedimiento de fabricación usual de los tubos es la extrusión mientras que las piezas especiales se fabrican, en general, por inyección en moldes o bien mediante manipulación partiendo del tubo.

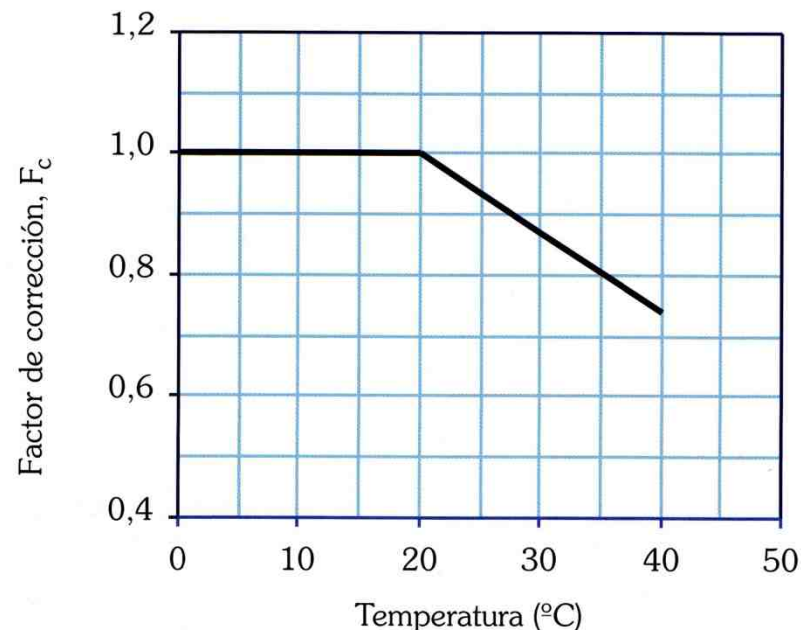
Normativa para transporte de agua a presión → UNE – EN 13244:2003



Definiciones

En los tubos de PE son de aplicación las definiciones específicas referentes a los tubos de PVC-U (DN, ovalación, serie S, SDR, PN, LCL, MRS, C y σ_s) con las siguientes especificaciones:

- Presión nominal (PN) → Para temperaturas superiores a 20°C, la PN debe ser corregida por el factor de corrección F_c indicado en la figura:





ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



- Valores normalizados de S y SDR → UNE – EN 13244:2003

S	20,0	16,0	(13,3)	12,5	(10,5)	10,0	8,3	8,0	6,3	5,0	4,0	3,2	2,5
SDR	41,0	33,0	(27,6)	26,0	(22,0)	21,0	17,6	17,0	13,6	11,0	9,0	7,4	6,0

- Valores normalizados de la PN → Y su relación con las presiones hidráulicas a 25°C según la norma UNE – EN 13244:2003

PN	PFA (N/mm ²)
2,5	0,25
3,2	0,32
4,0	0,40
5,0	0,50
6,0	0,60
8,0	0,80
10,0	1,00
12,5	1,25
16,0	1,60
20,0	2,00
25,0	2,50



Clasificación

Los tubos de PE se clasifican por su MRS, DN y PN

Características técnicas

Actualmente, su campo de aplicación habitual es el de los diámetros pequeños y medianos (400 – 500 mm) con presiones de hasta 2 N/mm².

Entre sus ventajas destacan su ligereza (fácil instalación), su baja rugosidad (mayor capacidad hidráulica), ausencia de incrustaciones, elevada resistencia al ataque químico, etc. Por el contrario, son muy susceptibles a las fuentes de calor externas y sus propiedades mecánicas disminuyen con el tiempo.

Densidad > 930 kg/m³

Módulo de elasticidad = 150 – 1.000 N/mm²

Alargamiento en rotura > 350%

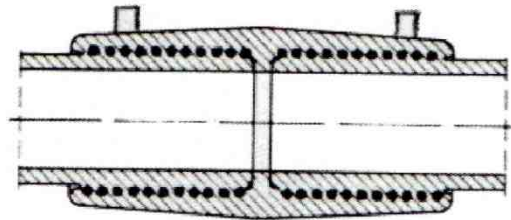
Coefficiente de dilatación = 22 – 23 · 10⁻⁵ m/m°C⁻¹



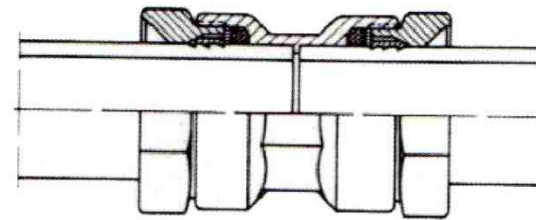
Uniones

Los tipos de uniones habituales en los tubos de PE son las siguientes:

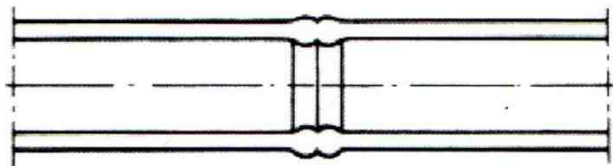
- Unión por electrofusión → Método por el cual se aplica calor a un cople o conexión mediante una resistencia eléctrica, quedando el accesorio soldado al tubo (sin movimientos longitudinales)
- Unión mediante accesorios mecánicos
- Unión soldada térmicamente a tope (210°C) → Más habitual



Unión por electrofusión



Unión mediante accesorios mecánicos



Unión mediante soldadura a tope

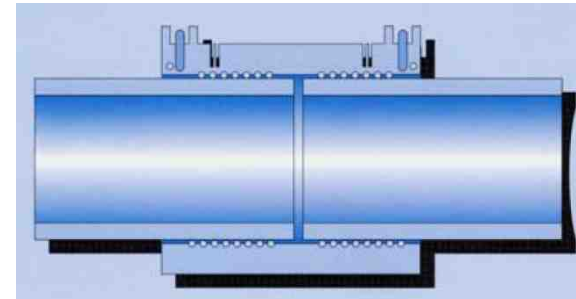


EJEMPLO

UNIÓN POR ELECTROFUSIÓN



*Manguito de electrofusión
(Georg Fischer Piping Systems)*



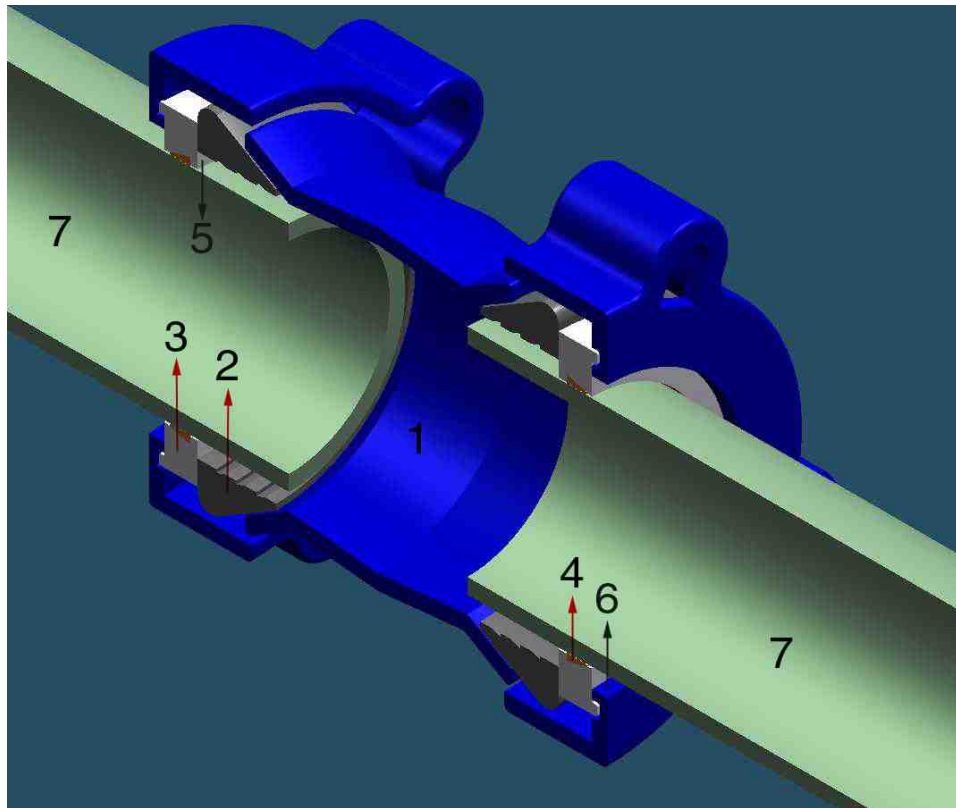
*Cople de electrofusión
(McElroy)*



EJEMPLO

UNIÓN CON ACCESORIO MECÁNICO

Subipro



1. *Cuerpo*

2. *Junta*

3. *Arandela cónica para
cierre del anillo de
presión*

4. *Anillo de presión*

5. *Arandela*

6. *Tapa*

7. *Tubo de PE*



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



EJEMPLO

PROCESO SOLDADURA A TOPE

AseTUB



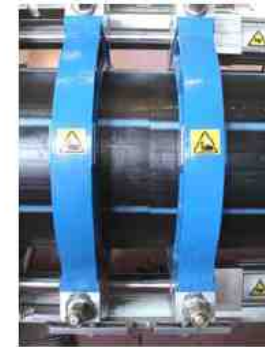
1. Colocar el tubo en la máquina



2. Refrentar



3. Eliminar virutas sin tocar con las manos la superficie refrentada



4. Comprobar alineación tubos



5. Colocar placa



6. Calentar hasta la formación del bordón



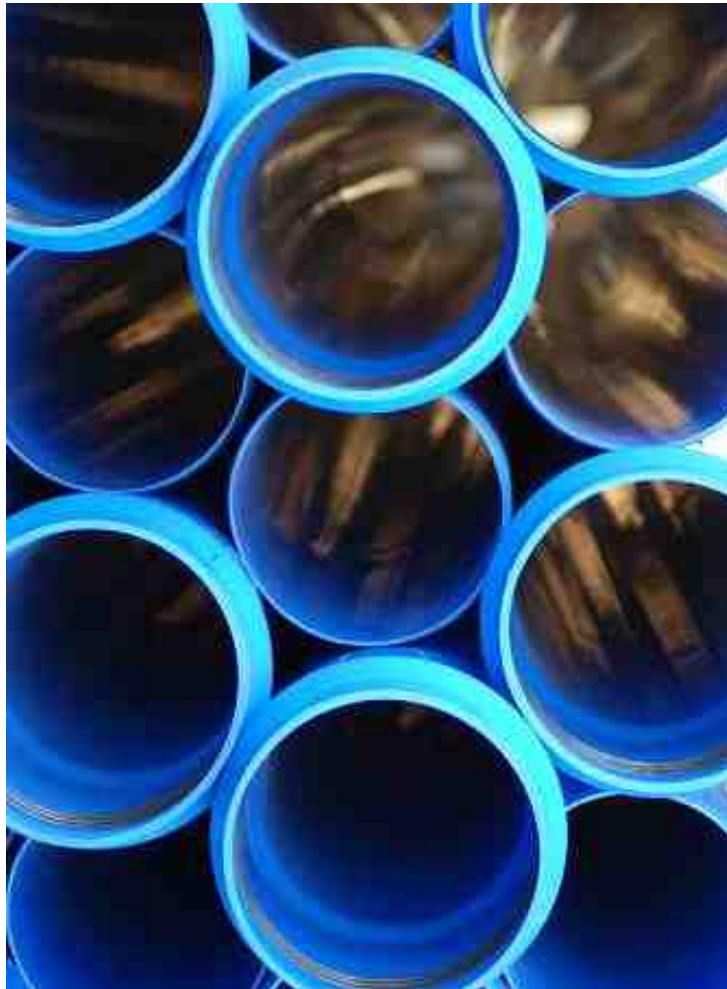
7. Abrir, quitar placa, cerrar y dar rampa de presión



8. Dar presión de soldadura y mantener tiempo de enfriamiento



7. POLI (CLORURO DE VINILO) CON ORIENT. MOLECULAR (PVC-O)



Los tubos de PVC-O tienen la condición de termoplásticos y son utilizados habitualmente en el rango de diámetros pequeños (< 400 mm) y presiones de hasta 2 N/mm^2 .

La tecnología de fabricación de estos tubos está basada en una reorientación en sentido circunferencial de las moléculas de las tuberías convencionales de PVC-U, de forma que se crea una estructura laminar en la pared del tubo que mejora notablemente sus características físicas y mecánicas.

Normativa para transporte de agua a presión → UNE – ISO 16422:2008



Definiciones

En los tubos de PVC-O son de aplicación las definiciones específicas referentes a los tubos de PVC-U (DN, ovalación, serie S, SDR, PN, LCL, MRS, C y σ_s) con las siguientes especificaciones:

- Presión nominal (PN) → Para temperaturas superiores a 20°C, se debe aplicar un factor de corrección a la PN del tubo de un 2% por cada °C que exceda de 20.
- Valores normalizados de la PN → Y su relación con la presión de funcionamiento admisible (PFA) a 25°C según la norma UNE – ISO 16422:2008

PN	PFA (N/mm ²)
10,0	1,00
12,5	1,25
16,0	1,60
20,0	2,00
25,0	2,50
32,0	3,20



Clasificación

Los tubos de PVC-O se clasifican por su MRS, DN y PN

Características técnicas

Actualmente, su campo de aplicación habitual es el de los diámetros (< 400 mm) con presiones de hasta 2 N/mm², que se alcanzan con unos reducidísimos espesores gracias a la elevada resistencia del material.

En el caso de los tubos de PVC-O la pérdida de resistencia mecánica con el paso del tiempo es menor que en el caso de los demás materiales termoplásticos.

Densidad = 1.420 kg/m³

Módulo de elasticidad = 2.000 – 4.000 N/mm²

Alargamiento en rotura > 100%

Coefficiente de dilatación = 5 · 10⁻⁵ m/m°C⁻¹

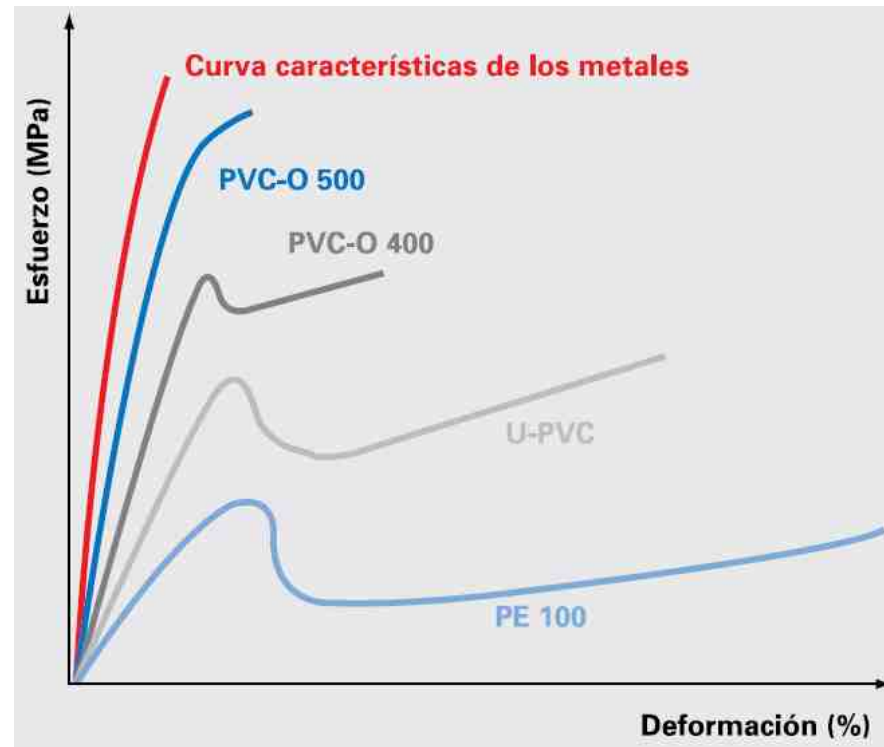


EJEMPLO

RESISTENCIA TUBERÍAS PVC - O



Resistencia al impacto



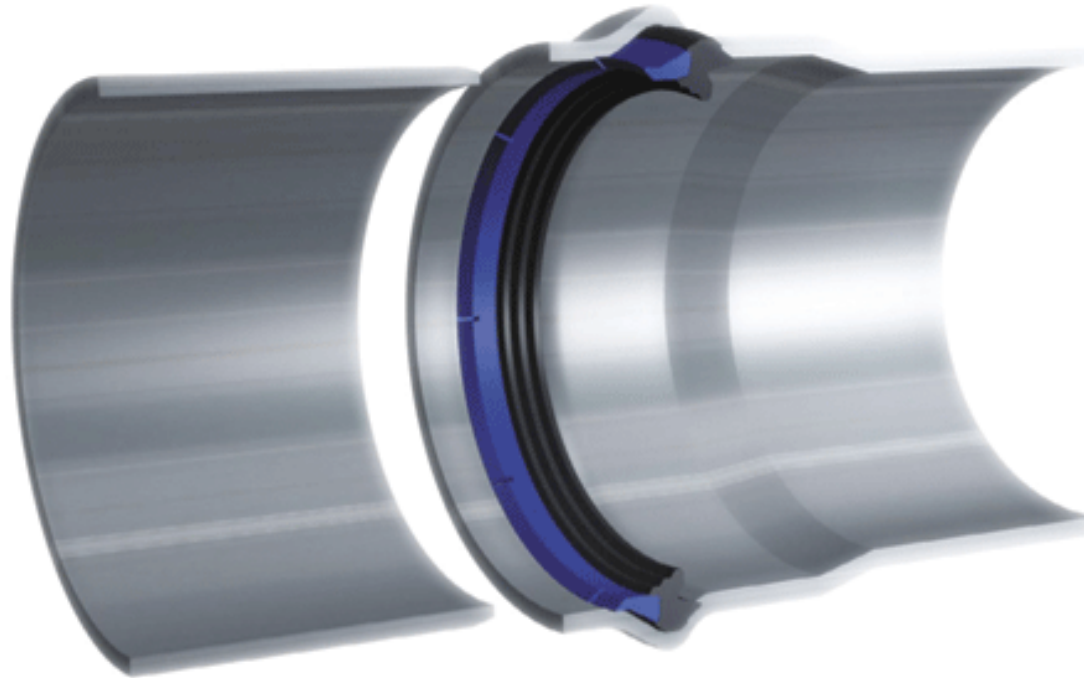
Resistencia a la tracción



Uniones

Las uniones entre los tubos deben ser flexibles, con embocadura y junta de anillo elastomérico, admitiéndose distintas tipologías.

No deben admitirse nunca en este tipo de tubos uniones encoladas.





EJEMPLO

TUBERÍA Y UNIONES PVC-O

Biax (Plastigama ®)





8. POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV)

Los tubos de PRFV están constituidos por distintas capas o componentes cada uno con una función específica, pero que en el total confieren unas magníficas prestaciones a los tubos y accesorios.

Las materias primas básicas que se utilizan en la fabricación de las tuberías de PRFV son: resina de poliéster, fibra de vidrio, cargas inertes (sílice) y diferentes aditivos (p.e. gel-coat). En el proceso de fabricación del tubo, la resina de poliéster solidifica formando enlaces químicos tridimensionales. Por ello, el PRFV es un plástico termoestable, que conserva su estabilidad dimensional en un medio caliente.

Normativa para transporte de agua a presión → UNE – EN 1796:2006





ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



El tubo es una única pieza estructural, cuyo espesor está dividido en tres partes diferenciadas:

- 1) Revestimiento interior → Garantiza las características hidráulicas, químicas y la resistencia a la abrasión. Está constituida por resinas y cargas inertes.
- 2) Parte estructural → Formada por una resina termoestable y fibra de vidrio. Provee al tubo la resistencia a los esfuerzos de tracción circunferencial causado por las presiones internas y la rigidez que proporciona resistencia a la deformación vertical consecuencia de las cargas externas.
- 3) Revestimiento exterior → Formado por una mezcla de cargas inertes, aditivos y resina de poliéster, es la capa que protege al tubo de los agentes externos tales como humedad, las altas temperaturas, rayos UV y demás inclemencias meteorológicas.

CAPAS PROTECTORAS

Capa exterior

Capa interior
mínima rugosidad



CAPAS ESTRUCTURALES

Capa de fibra
(resistencia
circunferencial)

Capa central
(rigidez)

Capa de fibra
(resistencia
circunferencial)

Capa barrera
(flexibilidad y
estabilidad)



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



Respecto a los procedimientos de fabricación, en el caso de los tubos, los métodos más empleados son:

- Arrollamiento mecánico sobre mandril
- Centrifugación
- Contacto

Las piezas especiales, por su parte, se fabrican habitualmente por alguno de los siguientes procedimientos:

- Moldeo por contacto
- Moldeo mecanizado
- Fabricación por soldadura

Los tubos de PRFV se emplean en abastecimiento tanto en presión (diámetros pequeños e intermedios) como en conducciones en lámina libre (diámetros mayores)



EJEMPLO

TUBERÍA PRFV LÁMINA LIBRE

Nuevo Canal de Cartagena (MCT)





EJEMPLO

TUBERÍA PRFV DE JUNTA ELÁSTICA

Abastecimiento de agua a Zaragoza





Diámetro nominal

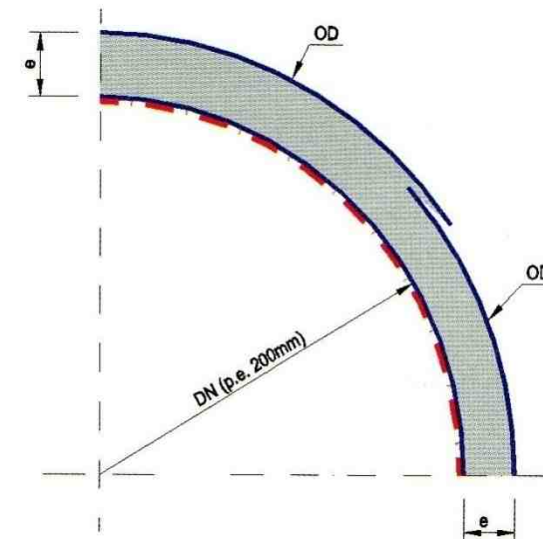
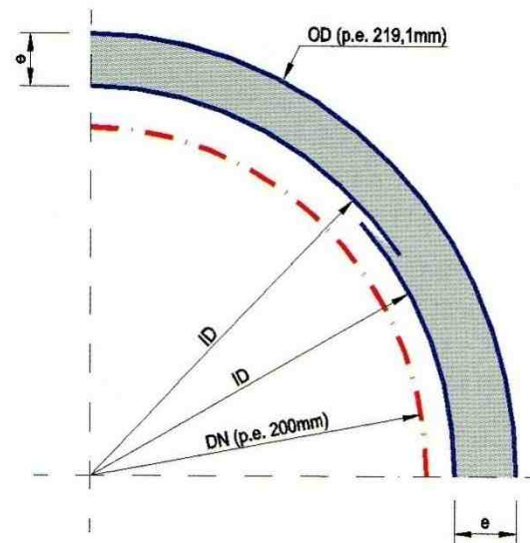
En los tubos de PRFV el diámetro nominal se refiere, aproximadamente, al diámetro interior (ID) si bien estos tubos presentan la singularidad de poder ser fabricados bajo dos series: A y B.

Supuesto fijo un valor del DN en la serie A los aumentos de espesor se obtienen por variación del OD (el ID es fijo), mientras que en la serie B ocurre al contrario: el OD es fijo y varía el ID al aumentar o disminuir el espesor, pero en ambas, la designación genérica DN se refiere al interior (en la serie B, aproximadamente)

Diámetros en los tubos de PRFV de DN 200

*serie A (dcha.)
ID 196 – 204 mm
OD variable*

*serie B4 (izqda.)
ID variable
OD 219,1 mm*





Presión nominal

Es el valor que coincide con la presión de diseño en utilización continuada durante 50 años (largo plazo) a la temperatura de servicio de 35°C.

Los valores normalizados de la PN y su relación con PFA y PMA son los adjuntados en la siguiente tabla:

<i>PN</i>	<i>PFA (N/mm²)</i>	<i>PMA (N/mm²)</i>
4	0,40	0,56
6	0,60	0,84
10	1,00	1,40
12,5	1,25	1,75
16	1,60	2,24
20	2,00	2,80
25	2,50	3,50
32	3,20	4,48

PFA → Presión de funcionamiento admisible (de forma permanente)

PMA → Presión máxima admisible (en servicio, incluido golpe de ariete)



Rigidez circunferencial específica

La rigidez circunferencial específica (S_c , en N/mm^2) es una característica mecánica del tubo que representa su rigidez a flexión transversal por unidad de longitud del mismo a corto (S_0) o a largo plazo (S_{50}).

Se define mediante la siguiente expresión:

$$S_c = EI / D_m^3$$

$$\begin{aligned} \text{Serie A} &\rightarrow D_m = DN + e & I = e^3 / 12 \\ \text{Serie B} &\rightarrow D_m = OD - e \end{aligned}$$

E → Módulo de elasticidad a flexión circunferencial (N/mm^2)

e → Espesor nominal de la pared del tubo (mm)

I → Momento de inercia de la pared del tubo por unidad de longitud (mm^3)

EI → Factor de rigidez transversal ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

D_m → Diámetro medio teórico del tubo (mm)



Rigidez nominal

La rigidez nominal (SN) es la rigidez circunferencial específica a corto plazo (S_0) expresada en N/m^2 . Los valores normalizados son los siguientes:

2.000 – 2.500 – 4.000 – 5.000 – 8.000 – 10.000

Factor de fluencia

Parámetro adimensional obtenido dividiendo la rigidez circunferencial específica S a largo plazo (S_{50}) y la S inicial (S_0).

Clasificación

Los tubos de PRFV se clasifican por su diámetro nominal (DN), su presión nominal (PN) y su rigidez nominal (SN).

En la norma UNE 53323:2001 EX se encuentran normalizados los parámetros anteriores, sin que exista limitación a las posibles combinaciones.



Características técnicas

Su campo habitual de utilización es el de los diámetros de hasta 2.000 – 2.500 mm y presiones máximas de 2,5 o incluso 3,2 N/mm².

Entre las ventajas de estos tubos puede destacarse la excelente resistencia que presentan a la abrasión y al ataque químico. Su ligereza y que habitualmente se fabriquen en tramos de 12 m (con la consecuente reducción del número de uniones) facilitan su instalación, debiendo estar los rellenos adecuadamente compactados.

Como material plástico es también característico de estos tubos la disminución que sufren con el tiempo sus propiedades mecánicas.

Densidad > 1.800 kg/m³

Módulo de elasticidad = $10^4 - 4 \cdot 10^4$ N/mm²

Alargamiento en rotura = 1 - 3%

Coefficiente de dilatación = $2 - 3 \cdot 10^{-5}$ m/m°C⁻¹



Uniones

Los tubos y piezas especiales pueden estar provistos con diferentes tipos de uniones, siendo las más habituales las que se indican en los siguientes puntos:

1) Uniones rígidas

- Con bridas (fijas o móviles)
- Encoladas (o pegadas)
- Vendadas a tope (o laminadas)

2) Uniones flexibles

- Con enchufe y extremo liso con anillo elastomérico (en ocasiones es un anillo doble)
- Con manguitos y elemento de estanquidad (también puede disponerse doble anillo)
- Autotrabada cuando se prevean esfuerzos de tracción



EJEMPLO

UNIONES RÍGIDAS TUBERÍAS PRFV



Unión mediante brida



Unión química (laminada)



EJEMPLO

UNIONES FLEXIBLES TUBERÍAS PRFV



Manguito FWC



*Unión con enchufe y extremo
liso (doble anillo)*



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



9. BIBLIOGRAFÍA

CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922 .

HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Abastecimiento y distribución de aguas*. 4ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2000. 914 p. Colección Señor nº 6. ISBN: 84-380-0165-3.

LIRIA MONTAÑÉS, J. *Proyecto de distribución de agua en poblaciones*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1995. 278 p. Colección Señor nº 1. ISBN: 978-84-380-0081-6.

SUAREZ LÓPEZ, J et al. *Manual de conducciones Uralita*. 1ª ed. Madrid: Thomson-paraninfo, 2004. 857 p. ISBN: 842832882X.

VICENTE MÉNDEZ, M. *Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua*. Caracas: Publicaciones UCAB, 2007. ISBN: 980-244-106-6.



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



REFERENCIA DE IMÁGENES

DIAPPOSITIVA PORTADA

“Rioolbuizen van kunststof” [Imagen tomada de] *Wikipedia, the free encyclopedia* [en línea]. Disponible en: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Bestand:Rioolbuizen_van_kunststof_%28Sewer_plastic_pipelines%29.jpg>. [Consulta: 10 de febrero de 2012]

DIAPPOSITIVA página 4

“Hierro fundido” [Imagen tomada de] “Hierro fundido dúctil”. *Saint Gobain* [en línea]. Disponible en: <http://www.saint-gobain-canalizacao.com.br/img/produtos/e_01.jpg>. [Consulta: 10 de febrero de 2012]

“Hierro fundido dúctil” [Imagen tomada de] “Hierro fundido dúctil”. *Saint Gobain* [en línea]. Disponible en: <http://www.saint-gobain-canalizacao.com.br/img/produtos/e_02.jpg>. [Consulta: 10 de febrero de 2012]

DIAPPOSITIVA página 5

[Imagen tomada de] “Ductile iron pipe”. *Diytrade* [en línea]. Disponible en: <http://img.diytrade.com/cdimg/372703/13013208/0/1275442461/ductile_iron_pipe.jpg>. [Consulta: 10 de febrero de 2012]

DIAPPOSITIVA página 6

[Imagen tomada de] “Saint-Gobain PAM España soluciona el suministro de agua de un embalse a una planta potabilizadora”. *Construarea* [en línea]. 28 de octubre de 2009. Disponible en: <http://www.construarea.com/image/image_gallery?img_id=2190009&t=1256642666412>. [Consulta: 10 de febrero de 2012]



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



DIPOSITIVA página 7

“Diámetros en los tubos de fundición”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 56

DIPOSITIVA página 9

“Tabla 6. PFA, PMA y PEA en función de PN en los tubos de fundición dúctil”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 57.

DIPOSITIVA página 10

“Esquema junta TYTON” [Imagen tomada de] “Unión enchufe TYTON”. *Construtec* [en línea]. Disponible en: <http://www.construtec.es/default/imagenes/394_1-union-tyton-M.jpg>. [Consulta: 3 de enero de 2012]

“Modelización de junta TYTON” [Imagen tomada de] “Unión enchufe TYTON”. *Construtec* [en línea]. Disponible en: <http://www.construtec.es/default/imagenes/lmg_Cabecera_Union_Tyton.jpg>. [Consulta: 3 de enero de 2012]

DIPOSITIVA página 11

“Unión mecánica” [Imagen tomada de] “Conductos: materiales, uniones y fijaciones”. *ULPGC* [en línea]. Disponible en: <http://editorial.dca.ulpgc.es/servicios/2_fontaneria/23/s230.h5.jpg>. [Consulta: 3 de enero de 2012]



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



“Esquema unión acerrojada BLS” [Imagen tomada de] “Unión acerrojada BLS”. *Construtec* [en línea]. Disponible en:< http://www.construtec.es/default/imagenes/409_1-union-bls-M.jpg>. [Consulta: 3 de enero de 2012]

“Modelización unión acerrojada BLS” [Imagen tomada de] “Unión acerrojada BLS”. *Construtec* [en línea]. Disponible en:<http://www.construtec.es/default/imagenes/Img_Cabecera_Union_BLS_500.jpg>. [Consulta: 3 de enero de 2012]

DIPOSITIVA página 12

“Unión mediante bridas” [Imagen tomada de] “Conductos: materiales, uniones y fijaciones”. *ULPGC* [en línea]. Disponible en:<http://editorial.dca.ulpgc.es/servicios/2_fontaneria/23/s230.h5.jpg>. [Consulta: 3 de enero de 2012]

DIPOSITIVA página 13

“Tubería de hierro dúctil K10” [Imagen tomada de] *Alibaba* [en línea]. Disponible en:<http://i01.i.aliimg.com/img/pb/643/777/331/331777643_608.JPG>. [Consulta: 3 de enero de 2012]

DIPOSITIVA página 16

“Revestimiento exterior ZMU” [Imagen tomada de] “Tuberías. Revestimiento”. *Construtec* [en línea]. Disponible en:<http://www.construtec.es/default/imagenes/Img_Cabecera_Revestimiento_ZMU.jpg>. [Consulta: 11 de febrero de 2012]

“Revestimiento exterior Zink-Plus®” [Imagen tomada de] “Tuberías. Revestimiento”. *Construtec* [en línea]. Disponible en: <http://www.construtec.es/default/imagenes/Img_Cabecera_Revestimiento_Zink_Plus.jpg>. [Consulta: 11 de febrero de 2012]



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



DIPOSITIVA página 17

“Estructura granular del acero” [Imagen tomada de] “Definición de los productos”. *Arcelor Mittal* [en línea]. Disponible en:
<<http://www.arcelormittal.com/automotive/saturnus/sheets/images/large/Structure%20granulaire%20acier.jpg>>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIPOSITIVA página 19

[Imagen tomada de] “Desaladora de Valdelentisco”. *NOAIN, S. L.* [en línea]. Disponible en:<http://www.montajesnoain.com/files/FOTO_REDUCIDA.jpg>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIPOSITIVA página 20

“Diámetros en los tubos de acero (sin tener en cuenta los revestimientos)”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 76

DIPOSITIVA página 22

“Detalle de unión abocardada o soldada a tope en tubos de acero”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 87

DIPOSITIVA página 23

[Imágenes tomadas de] “Bridas de unión para tubos de acero”. *Hawle* [en línea]. Disponible en:
<<http://www.construnario.com/diccionario/swf/27680/acometidas%20para%20instalaciones/bridas/para%20acero.pdf>>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



DIPOSITIVA página 24

[Imagen tomada de] “Tubería de acero espiral para transporte de gas natural y petróleo”. *XinYuanTai Steel Pipe Group Co.* [en línea]. Disponible en: <<http://www.xytpipe.es/1-spiral-steel-pipe/3-3b.jpg>>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIPOSITIVA página 27

[Imágenes tomadas de] “Recubrimientos anticorrosivos FBE para tuberías de acero”. *Tubería Laguna* [en línea]. Disponible en: <<http://www.tuberialaguna.com.mx/tuberialagunasp/LinkClick.aspx?fileticket=5Ujl5kWXnn8%3D&tabid=62&mid=450>>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIPOSITIVA página 28

[Imágenes tomadas de] “Ven spray pipe”. *Venjakob* ® [en línea]. Disponible en: <<http://www.venjakob.de/en/unsere-anlagen/spray-painting-and-coating/ven-spray-pipe/>>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIPOSITIVA página 30

“Steel Bell and Spigot Reinforced Concrete Drainpipe” [Imagen tomada de] “Product details”. *Tianjin Waterline Pipeline Engineering Co., Ltd.* [en línea]. Disponible en: <<http://image.made-in-china.com/2f0j00LBbQYUwnHWof/Steel-Bell-and-Spigot-Reinforced-Concrete-Drainpipe.jpg>>. [Consulta: 3 de enero de 2012]



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



DIPOSITIVA página 32

“Large diameter Thin Walled Prestressed Steel Bell and Spigot Concrete Pipe” [Imagen tomada de] “Product details”. *Tianjin Waterline Pipeline Engineering Co., Ltd.* [en línea]. Disponible en: <<http://image.made-in-china.com/2f0j00wMqTGbdCEicQ/Large-diameter-Thin-Walled-Prestressed-Steel-Bell-and-Spigot-Concrete-Pipe.jpg>>. [Consulta: 3 de enero de 2012]

DIPOSITIVA página 34

[Imágenes tomadas de] “AFTHAP en SMAGUA 2006”. *AFTHAP* [en línea]. Disponibles en: <http://www.afthap.com/noticias_old/smagua06/smagua06.html>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIPOSITIVA página 35

[Imagen tomada de] “Sifón de Artajona”. *NOAIN, S. L.* [en línea]. Disponible en: <http://www.montajesnoain.com/files/FOTO-OBRA_DESTACADA_01.jpg>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIPOSITIVA página 36

“Diámetros en los tubos de hormigón”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 97

DIPOSITIVA página 40

“Uniones rígidas y flexibles en tubos de hormigón”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 112



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



DIPOSITIVA página 42

“Diámetros en los tubos de PVC-U”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 116

DIPOSITIVA página 44

“Tubos de PVC-U. Factor de corrección de PN por la Tª”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 118

“Tabla 37. PFA y PEA en función de PN en los tubos de PVC-U a 25 °C”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 118

DIPOSITIVA página 46

“Tabla 36. Rigidez nominal en los tubos de PVC-U”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 117

DIPOSITIVA página 47

“Tabla 38. Tensión mínima requerida. Valores de aplicación de las series de los números de Renard”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 120



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



DIPOSITIVA página 48

“LCL, MRS, C y σ_s en tubos de PVC-U”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 121

DIPOSITIVA página 50

“Sistemas de unión en tubos de PVC-U” [Imagen tomada de] “Las tuberías plásticas en las obras hidráulicas”. *AseTUB* [en línea]. Disponible en: http://www.geoscopio.com/empresas/asetub/guia_tecnica.pdf. [Consulta: 3 de enero de 2012]

DIPOSITIVA página 51

“Unión por encolado” [Imágenes tomadas de] “Manual técnico DURONIL”. *Plomyplas* [en línea]. Disponible en: http://www.plomyplas.com/images/archivos/manual_duronil_pvc_u.pdf. [Consulta: 3 de enero de 2012]

DIPOSITIVA página 52

“Unión por junta elástica” [Imágenes tomadas de] “Manual técnico DURONIL”. *Plomyplas* [en línea]. Disponible en: http://www.plomyplas.com/images/archivos/manual_duronil_pvc_u.pdf. [Consulta: 3 de enero de 2012]

DIPOSITIVA página 53

“Unión Gibault” [Imagen tomada de] “Catálogo de productos”. *Valme* [en línea]. Disponible en: http://www.valmevm.com/zona/articulo/img/articulo_PVC_U.G.PVC%28Web%29.jpg. [Consulta: 3 de enero de 2012]



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



“Enlace con bridas” [Imagen tomada de] “Unión PVC”. *Mercamanía* [en línea]. Disponible en:<<http://csimg.mercamania.es/srv/ES/290256431069/T/340x340/C/FFFFFF/url/enlace-con-bridas-pvc-kit.jpg>>. [Consulta: 3 de enero de 2012]

DIAPPOSITIVA página 54

[Imagen tomada de]] “Products. PE pipe”. *Parixit®* [en línea]. Disponible en:<http://www.parixit.com/images/pe_pipe.jpg>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIAPPOSITIVA página 55

“Tubos de PE. Factor de corrección de PN por la T^a”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6^a ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 134

DIAPPOSITIVA página 56

“Posibles valores normalizados de S y SDR”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6^a ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 134

“Tabla 42. PFA en función de PN en los tubos de PE, a 25 °C”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6^a ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 135

DIAPPOSITIVA página 58

“Sistemas de unión en los tubos de PE”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6^a ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 146



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



DIAPPOSITIVA página 59

“Manguito de electrofusión” [Imagen tomada de] “Instaflex”. *Georg Fischer piping systems* [en línea]. Disponible en: <<http://ecat.georgfischer.com/mediacockpit/catalog/assetpopup.jsp?assetId=0fea0208d7f3d203>>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

“Sección de una soldadura EF” [Imagen tomada de] “Soldadura térmica en tuberías de polietileno (PE)”. *AseTUB* [en línea]. Disponible en: <http://www.plomyplas.com/images/prensa/informe_soldadura_asetub_9.pdf>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

“Cople de electrofusión” [Imagen tomada de] “¿Qué es la electrofusión?”. *Grupo Sitsa* [en línea]. Disponible en: <<http://www.termofusion.com.mx/images/electro2.jpg>>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIAPPOSITIVA página 60

“Diseño del sistema de sujecion mecanica para tubo de PE” [Imagen tomada de] “Trabajos”. *Subipro* [en línea]. Disponible en: <<http://www.subipro.com/trabajos/imagenes/43%20copia.jpg>>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIAPPOSITIVA página 61

“Procedimiento de unión por soldadura a tope” [Imágenes tomadas de] “Soldadura térmica en tuberías de polietileno (PE)”. *AseTUB* [en línea]. Disponible en: <http://www.plomyplas.com/images/prensa/informe_soldadura_asetub_9.pdf>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



DIPOSITIVA página 62

[Imágenes tomadas de] “Tubería de PVC orientado: para conducción de agua a presión”. *Molecor*, S. L. [en línea]. Disponible en: <Tubería de PVC orientado: para conducción de agua a presión>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIPOSITIVA página 63

“Tabla 49. PFA en función de PN en los tubos de PVC-O, a 25 °C”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 150

DIPOSITIVA página 65

[Imagen tomada de] “Tubería PVC-O TOM”. *Molecor* [en línea]. Disponible en: <<http://www.molecor.com/imagenes/foto19.jpg>>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

“Curva tensión vs deformación aproximada” [Imagen tomada de]] “Comparación del PVC-O clase 500 con PVC-U y PE-100”. *Uratop clase 500* [en línea]. Disponible en: <<http://www.construnario.com/presto/1847/1/1029/1029.pdf>>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIPOSITIVA página 66

[Imagen tomada de] “Estanquidad. Tubería PVC-O TOM”. *Molecor* [en línea]. Disponible en: <<http://www.molecor.com/imagenes/dcopa.gif>>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



DIPOSITIVA página 67

“Tuberías biax” [Imagen tomada de] “Manual técnico”. *Plastigama* [en línea]. Disponible en: <http://www.plastigama.com.ec/site/attachments/103_catalogo%20biax%20de%20plastigama%20baja.pdf>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIPOSITIVA página 68

[Imagen tomada de] “Tuberías de PRFV: resistencia a la corrosión”. *Amitech* [en línea]. Disponible en: <<http://www.interempresas.net/FotosArtProductos/P56630.jpg>>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIPOSITIVA página 69

[Imagen tomada de] “Tuberías de poliéster PRFV”. *ADECUA* [en línea]. Disponible en: <<http://www.adequa-tuberias.com/tarifasDocumentacion/documentos/Lists/Info%20Documentos/Attachments/11/1partemanualPRFV.pdf>>. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIPOSITIVA página 70

[Imagen tomada de] “Amitech wins contracts for 57 km of FRP pipe” [*Blog*] *Compositesworld* [en línea]. 16 de febrero de 2010. Disponible en: <http://d2n4wb9orp1vta.cloudfront.net/resources/images/cdn/cms/Tubos%20de%20PRFV_web.jpg>. [Consulta: 25 de abril de 2011]

DIPOSITIVA página 71

“Tuberías de PRFV” © Francisco Javier Pérez de la Cruz



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 13. Materiales de conducciones



DIPOSITIVA página 72

[Imágenes tomadas de] *Abastecimiento de agua a Zaragoza y su entorno* [en línea]. Disponible en: http://www.montajesnoain.com/files/FOTO-OBAS_DESTACADA_022.jpg. [Consulta: 12 de julio de 2015]

DIPOSITIVA página 73

“Diámetros en los tubos de PRFV”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 158

DIPOSITIVA página 74

“Tabla 53. PFA y PMA en función de la PN en los tubos de PRFV”. En: CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922. Página 158

DIPOSITIVA página 79

[Imágenes tomadas de] *Piezas especiales y accesorios de una red* [en línea]. Disponible en: www.chil.org/download-doc/692. [Consulta: 12 de febrero de 2012]

DIPOSITIVA página 80

[Imágenes tomadas de] *Piezas especiales y accesorios de una red* [en línea]. Disponible en: www.chil.org/download-doc/692. [Consulta: 12 de febrero de 2012]