

CURSO HIDRÁULICA BÁSICA

Tema 4. Como dimensionar una red hidráulica.

1.	Definición y conceptos previos	2
2.	Ecuaciones de pérdida de carga	4
	Video nº 4.1. Pérdida de carga en tuberías a presión.....	5
2 A.	Darcy-Weisbach	5
2 B.	Blasius.....	6
2 C.	Colebrook-White.....	7
2 D.	Manning.....	8
2 E.	Hazen-Williams	9
	Video nº 4.2. Cálculo de la pérdida de carga.....	10
3.	Tuberías de policloruro de vinilo (PVC)	10
	Video nº 4.3. Diámetro nominal, interior y exterior.	14
4.	Tuberías de polietileno (PE).....	14
	Video nº 4.4. Determinación de la PN según el coeficiente MRS.....	16
5.	Tuberías de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)	20
6.	Tuberías de de fundición	24
	Video nº 4.5. Clasificación de tubos de fundición.....	26
7.	Tuberías de hormigón armado y pretensado.....	28
8.	Tuberías de acero.....	31
9.	Pérdidas de carga localizadas.....	35
	Video nº 4.6. Pérdida de carga en una válvula hidráulica.....	37

1. Definición y conceptos previos

Una red hidráulica se diseña con el objetivo de distribuir caudales, y para el caso de conducciones forzadas, con una presión determinada.

Una red de distribución es un conjunto de elementos como tuberías, depósitos, bombas, válvulas, piezas especiales, etc., interconectados entre sí y cuya misión es, como hemos dicho, transportar un fluido, agua en nuestro caso, en condiciones definidas.

Topológicamente una red hidráulica de distribución a presión, se subdivide en:

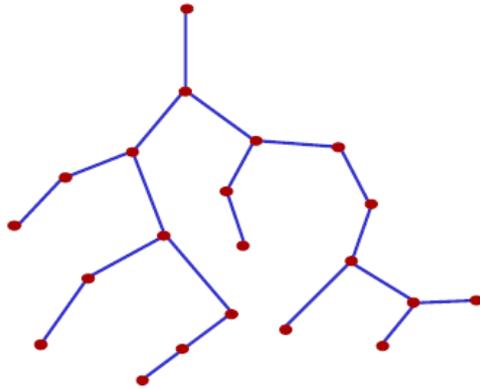
- **Nudos.** Son puntos determinados de la red, y podrán ser puntos de consumo, puntos de entrada/salida ó puntos de conexión de tuberías, válvulas u otros elementos.
- **Líneas:** Representan a los elementos que consumen energía, y son las tuberías que componen la red e interconexionan los nudos.

Atendiendo a la forma de interconexión podemos distinguir entre redes ramificadas, malladas y mixtas.

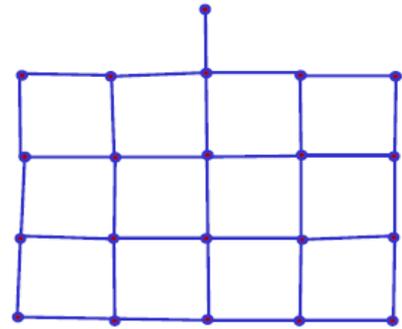
Las ramificadas tienen una configuración de tipo arborescente, siendo su principal característica la siguiente: dos nudos cualesquiera sólo pueden ser conectados mediante un único trayecto.

Una red mallada se caracteriza por la presencia de circuitos cerrados, de manera que cualquier par de nudos de la red mallada puede ser unido por al menos dos trayectos diferentes.

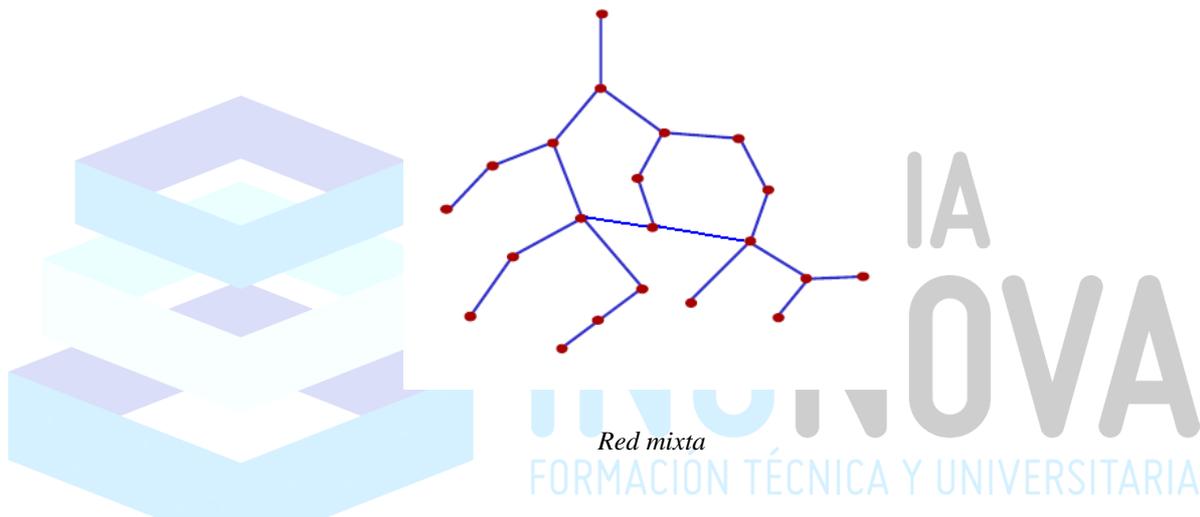
En una red mixta encontramos en la misma red estructuras arborescentes y malladas.



Red ramificada



Red mallada



Red mixta

El diseño de una red hidráulica se divide en dos partes:

1. Trazado de la red: distribución física y conexionado de sus componentes.
2. Dimensionado de los componentes de la red.

Para el primer punto hay que comenzar por identificar y situar los puntos de alimentación de la red (impulsiones, depósitos,...) y los puntos de consumo. Una vez identificados el trazado consistirá en interconectar estos atendiendo a criterios económicos y funcionales, y sometido a condicionantes como usos del suelo, orografía, expropiaciones, caminos existentes, etc. Herramientas informáticas como los SIG

pueden contribuir a seleccionar, p.e., el camino o trazado más corto, aunque lógicamente no siempre será el más idóneo.

Una vez definida la topología de la red se esta en disposición de dimensionarla. El dimensionado de redes complejas de tuberías deberá ser auxiliado generalmente por programas informáticos: EPANET, DIOPRAM, WCADI, PIPE FLOW,....

Vamos a tratar en este tema el componente fundamental de una red hidráulica: las tuberías, y veremos en un primer termino como calcular la pérdida de energía o pérdida de carga en el transporte y posteriormente veremos las distintas tuberías existentes en el mercado.

⇒ Todos los componentes (tubos, piezas especiales, etc.) empleados en las redes de tuberías a presión deben ser tales que garanticen, al menos, una vida útil de la red de 50 años (norma UNE-EN 805:2000, artículo 5.2).

Las tuberías de conducción en general, se clasifican en dos grandes grupos, atendiendo a un criterio resistente: rígidas y flexibles.

1. **Rígidas.** Diseñadas de tal forma que deban de absorber el 100% de esfuerzos, sin admitir deformación. Fundamentalmente tuberías de hormigón.

2. **Flexibles.** Admiten deformación, tubos plásticos y de acero, p.e.

También fundición en grandes diámetros.

⇒ Se considera que la tubería se comporta como rígida cuando su rigidez relativa $S_r \leq 9$ y como flexible cuando $S_r > 9$. Sin embargo, aquellos casos en los que la rigidez relativa está comprendida entre 9 y 24 se suelen denominar tuberías semirrígidas o tuberías semiflexibles.

Así mismo y atendiendo a su naturaleza podemos clasificar los tubos en:

- Metálicos: tubos de fundición dúctil y tubos de acero
- Termoplásticos: tubos de PVC y PE
- Heterogéneos: tubos de PRFV y tubos de hormigón.

2. Ecuaciones de pérdida de carga

En el tema anterior vimos la ecuación de Bernouilli, que para un fluido ideal es:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{constante}$$

En el caso de que se trate de un fluido real, y debido a su viscosidad, parte de la energía se utiliza en vencer el rozamiento entre el fluido y el conducto, y de las partículas del fluido entre sí. Esta energía pérdida se denomina, como hemos dicho, pérdida de carga. Expresándose ahora el Teorema de Bernouilli así:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_{12} \Rightarrow H_1 = H_2 + h_{12}$$

h_{12} : expresa la pérdida de carga en m.c.a.

Video nº 4.1. Pérdida de carga en tuberías a presión.

Para evaluar estas pérdidas existen diversas formulas, las más conocidas son las siguientes.

2 A. Darcy-Weisbach

Es una fórmula universal de pérdidas de carga, su expresión es:

$$J = 0,0826 \cdot f \cdot \frac{1}{D^5} \cdot \frac{Q^2}{2g}$$

Donde:



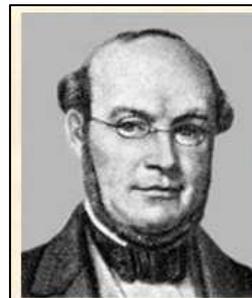
Henry Philibert Gaspard Darcy (Dijon 10/6/1803 - Paris 2/1/1858). Graduado como ingeniero de Puentes y Caminos es uno de los pioneros modernos en el abastecimiento de agua potable. Entre 1834 y 1840 se ocupa directamente, por encargo de la municipalidad de Dijon, del diseño y construcción del sistema de abastecimiento de agua potable a la ciudad,

construyendo una línea de aducción subterránea de 12 km de longitud concebida por él. En 1847, el agua entubada llega a todos los pisos de todos los edificios de Dijon, transformando así a esta ciudad en la segunda ciudad europea en lo que se refiere a abastecimiento de agua, después de Roma.

En 1857 publica su tratado relacionado con sus investigaciones experimentales del movimiento del agua en tuberías.

- J: Pérdidas de carga continuas unitarias, en m.c.a./m.l.
- f: Factor de fricción
- v: Velocidad del fluido, en m/s
- D: Diámetro interior de la tubería, en m
- Q: Caudal, en m³/s

El coeficiente de fricción f es función del número de Reynolds (R_e) y del coeficiente de rugosidad o rugosidad relativa de las paredes de la tubería (ϵ_r) → $f=f(R_e, \epsilon_r)$.

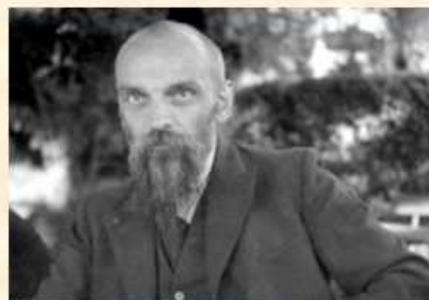


Julius Weisbach (Mittelschmiedeberg 10/8/1806 –Freiber 24/2/1871. (Alemania)). Fue profesor de matemáticas y mineralogía, a mediados de 1835, empieza a interesarse por la hidráulica, ciencia que abarcó sus más importantes trabajos. Sus escritos aparecen en más de 40 libros, pero los de mayor influencia fueron los de la hidráulica, que tienen tanta importancia que se siguieron usando sus descubrimientos a través del siglo XX y XXI.

La dificultad de aplicación de esta fórmula de carácter universal radica en la determinación del valor de f, de manera que las distintas propuestas para su obtención han originado sendas ecuaciones para el cálculo de las pérdidas de carga. Algunas de las cuales veremos a continuación.

2 B. Blasius

Propone una expresión en la que "f" viene dado en función del Reynolds, válida para hasta $Re < 100.000$: $f = 0,3164 \cdot R_E^{-0,25}$



Paul Richard Heinrich Blasius (1883 – 1970) fue un ingeniero alemán especializado en mecánica de fluidos. Fue uno de los primeros alumnos de Prandtl, que le proporcionó las bases matemáticas para

el estudio del arrastre a través de la teoría de capa límite. El trabajo de Prandtl llevó al estudio en 1911 de este fenómeno en tuberías y conductos, relacionándolo con el número de Reynolds. La principal contribución de Blasius fue el estudio de la capa límite en una placa seminfinita, ampliando los resultados de Prandtl.

2 C. Colebrook-White

Su expresión para calcular el factor de fricción es válida para todo tipo de flujos y rugosidades. Es la más exacta y universal, pero presenta un inconveniente: se trata de una ecuación implícita que requiere de iteraciones para su resolución, aspecto que hoy día, y gracias a la informática, es fácil de resolver.

Cyril Frank Colebrook (Budapest, 1881 - Aquisgrán, 1963) Ingeniero norteamericano de origen húngaro. Se graduó en la universidad técnica de Budapest, en 1902, y en la de Gotinga, en 1908. Fue profesor de aeronáutica en la universidad de Aquisgrán durante dieciocho años. En 1929 emigró a Estados Unidos, donde fue profesor del instituto tecnológico de California y dirigió el laboratorio aeronáutico Guggenheim de Pasadena, desde 1930 hasta 1949. Fue nombrado presidente del Consejo científico del ejército del aire. Realizó trabajos científicos en el campo de la mecánica; teorías relativas a fenómenos de turbulencias, estudios sobre las corrientes de gran velocidad, aportaciones a las teorías de la elasticidad y resistencia de materiales, y soluciones a numerosos problemas de hidrodinámica, aerodinámica y termodinámica.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[\frac{\varepsilon}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right]$$

Donde:

- f: coeficiente de fricción (adimensional)
- ε: rugosidad absoluta de la tubería (m)
- Re: número de Reynolds

Valores del coeficiente ε:

RUGOSIDAD ABSOLUTA	
Material	ε (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,0100
Tubos estirados de acero	0,0024
Tubos de latón o cobre	0,0015
Fundición revestida de cemento	0,0024
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024
Fundición centrifugada	0,0030

Fundición asfaltada (0,06-0,18)	0,1200
Fundición (0,12-0,60)	0,3600
Acero comercial y soldado (0,03-0,09)	0,0600
Hierro forjado (0,03-0,09)	0,0600
Hierro galvanizado (0,06-0,24)	0,1500
Hormigón (0,3-3,0)	1,6500

⇒ *Noticia relacionada con la rugosidad: Científicos explican cómo exprimir un bote de ketchup hasta la última gota:*

Investigadores del MIT idean un sistema para que los fluidos muy densos puedan discurrir con facilidad a través de un recipiente. Dos intensos meses de estudios han dado como resultado «*LiquiGlide*», un revestimiento «súper resbaladizo» compuesto por materiales no tóxicos y que puede utilizarse sin problema en todo tipo de envases. Su función no es otra que hacer que este tipo de productos caracterizados por su elevada viscosidad (como el ketchup o la mahonesa) resbalen con facilidad a través de cualquier recipiente.

Si bien la primera utilidad que se apunta es una mejora tecnológica en la industria alimentaria, podemos pensar en un tratamiento interior de tuberías que mejoraría, sin duda su capacidad hidráulica.

<http://www.abc.es/20120524/ciencia/abci-cientificos-ketchup-fluido-201205241300.html>

El **ábaco de Moody** es la representación gráfica de esta fórmula, de tal manera que calculado el nº de Re y la rugosidad relativa puede obtenerse el factor de fricción f.

2 D. Manning

Ecuación usada en canales. Uno de los inconvenientes de la fórmula es que sólo tiene en cuenta un coeficiente de rugosidad (n) obtenido empíricamente, y no las variaciones de viscosidad con la temperatura. La expresión es la siguiente:



Robert Manning (Normandía 1816-1897) ingeniero conocido por la creación de la fórmula de Manning. En 1826 se mudó a Waterford, Irlanda, donde trabajó como contable. En 1846, durante el año de la gran hambruna en Irlanda, Manning fue reclutado en la división de drenaje urbano de la oficina de Obras Públicas. Trabajo como delineante, y posteriormente como asistente del ingeniero Samuel Roberts.

En 1848 se convirtió en ingeniero de distrito. En 1855 fue contratado por el Marqués de Downshire, para quien supervisó la construcción del fuerte Bay Harbor en Irlanda y diseñó un sistema de abastecimiento de agua en Belfast. En 1869, Manning regresó a la oficina de Obras Públicas como asistente del ingeniero en jefe, puesto que tomó en 1874 hasta su retiro en 1891. Nunca recibió ninguna educación formal acerca de la mecánica de fluidos o la ingeniería en general. Su experiencia y pragmatismo influenciaron su trabajo y lo condujeron a reducir problemas a su más simple forma.

$$h = n^2 \cdot \left(\frac{Q^2}{R^{4/3} \cdot A^2} \right) \cdot L$$

Donde:

- h: pérdida de carga o de energía (m.c.a.)
- n: coeficiente de rugosidad (adimensional)
- R: Radio hidráulico (m) del conducto
- A: Sección del conducto (m²).
- Q: caudal (m³/s)
- L: longitud del canal (m)

Coeficiente de Manning	
Cunetas y canales sin revestir	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045
Cunetas y Canales revestidos	
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Corrientes Naturales	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente	
sin vegetación	0,027-0,033
algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,200
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,200

2 E. Hazen-Williams

El método de Hazen-Williams es válido solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (5 °C -25 °C). La fórmula es sencilla y su cálculo es simple

debido a que el coeficiente de rugosidad "C" no es función de la velocidad ni del diámetro de la tubería. Es útil en el cálculo de pérdidas de carga en tuberías para redes de distribución de diversos materiales, especialmente de fundición y acero:

$$h = 10,674 \cdot \left(\frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \cdot D^{4,871}} \right) \cdot L$$

En donde:

- h: pérdida de carga o de energía (m.c.a.)
- Q: caudal (m³/s)
- C: coeficiente de rugosidad (adimensional)
- D: diámetro interno de la tubería (m)
- L: longitud de la tubería (m)

Material	C de H-W
Plástico (PE, PVC)	145
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	145
Tubos estirados de acero	130
Tubos de latón o cobre	130
Fundición revestida de cemento	140
Fundición con revestimiento bituminoso	140
Fundición centrifugada	140
Fundición asfaltada	140
Fundición	130
Acero comercial y soldado	130
Hierro forjado	130
Hierro galvanizado	120
Hormigón	120

Video nº 4.2. Cálculo de la pérdida de carga.

Existen otras formulas, Veronesse-Datei, Scoobey,... si bien las expuestas se consideran más que suficientes, siendo además las más usadas.

3. Tuberías de policloruro de vinilo (PVC)

En 1835 aparece la primera referencia al cloruro de vinilo (VC), artículo publicado por V. Regnault, de forma casual al dejar, el producto de la reacción entre el

dicloroetano y de la potasa, un polvo blanco en un tubo de ensayo expuesto a la luz solar se produjo su polimerización.

Posteriormente, los trabajos realizados por Raeppe y sus colaboradores de BASF, durante la primera guerra mundial fueron el origen del desarrollo del PVC.

En los años 40 comienza a utilizarse el PCV como material para fabricar tuberías, en Alemania. Inicialmente tenían como destino el transporte de ácidos y líquidos corrosivos.

Actualmente, en España, el PVC esta ampliamente difundido en el mercado, usándose en diámetros nominales¹ de 32 a 630 mm.

Existen dos tipos de tuberías de PVC, para transporte de agua a presión, a saber:

- Tubos de policloruro de vinilo no plastificado (PVC-U)
- Tubos de policloruro de vinilo con orientación molecular (PVC-O)

Las tuberías compactas de PVC-U: Son las obtenidas por el proceso de extrusión consistente en hacer pasar la mezcla de resina de PVC y aditivos debidamente acondicionada, caliente y por lo tanto, moldeable a través de una boquilla con sección anular. La pared del tubo resultante tiene un espesor homogéneo en toda su sección anular, completamente llena y compacta.

El PVC-U o también conocido como PVC rígido tienen multitud de aplicaciones, las aplicaciones principales son la conducción de agua potable y no-potable, con y sin presión, evacuación de aguas pluviales y residuales, drenajes, etc.

¹ Las series comienzan en 12 mm y finalizan en 1.000



Tubo de PVC-U o PVC rígido

El PVC-O se obtiene mediante la reorientación de las cadenas moleculares de tubos de PVC-U, que se obtuvieron por extrusión convencional. Durante el proceso de orientación la estructura molecular mejorándose algunas características físicas:

- Gran tensión circunferencial
- Gran resistencia al impacto (una de sus principales mejoras)
- Aumento de la resistencia a la fatiga cíclica
- Peso reducido
- Gran diámetro interior
- Mayor capacidad hidráulica

Se usan en diámetros de 110 hasta 400 mm. Su precio (€/m.l.) es mayor al PVC-U. Para distinguirlos a simple vista del PVC-U, bastará con comprobar su menor espesor, y su color, comercialmente el PVC-O suele ser azul. Sus aplicaciones son las mismas que para el caso del PVC-U.



Tubos de PVC-O o PVC con orientación molecular

⇒ El menor espesor del PVC-O frente al convencional, determina su menor peso y mayor diámetro interior y capacidad hidráulica.

Las tuberías de PVC-U y PVC-O², para cumplir con sus requisitos de funcionalidad deberán atenerse a las normas UNE y/o EN. Los organismos de certificación, como AENOR, controlan el correcto cumplimiento de las normas, certificando los productos.

La serie normalizada³ de diámetros es:

Φ Nominal	Φ interior (mm)					
	PN7,5	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20
12						9,0
16						13,0
20					17,0	16,2
25				22,0	21,2	20,4
32		29,0	28,8	28,2	27,2	26,2
40	37,0	36,8	36,2	35,2	34,0	32,6
50	46,8	46,0	45,2	44,0	42,6	40,8
63	59,0	58,0	57,0	55,4	53,6	51,4
75	70,4	69,2	67,8	66,0	63,8	61,4
90	84,4	83,0	81,4	79,2	76,6	73,6

Φ Nominal	Φ interior (mm)						
	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20	PN 25
110	104,6	103,2	101,6	99,4	96,8	93,8	90,0
125	118,8	117,2	115,4	113,0	110,2	106,6	102,2
140	133,0	131,4	129,2	126,6	123,4	119,4	114,6
160	152,0	150,2	147,6	144,6	141,0	136,4	130,8
180	171,2	169,0	166,2	162,8	158,6	153,4	147,2
200	190,2	187,6	184,6	180,8	176,2	170,6	163,6
225	214,0	211,2	207,8	203,4	198,2	191,8	
250	237,6	234,6	230,8	226,2	220,4	213,2	
280	266,2	262,8	258,6	253,2	246,8	238,8	
315	299,6	295,6	290,8	285,0	277,6	268,6	
355	337,6	333,2	327,8	321,2	312,8	302,8	
400	380,4	375,4	369,4	361,8	352,6	341,2	

² Para PVC-O la normativa es mucho más escasa.

³ PVC-U. UNE-EN 1452-2:2000

Φ Nominal	Φ interior (mm)						
	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20	PN 25
450	428,0	422,4	415,6	407,0	396,6	383,8	
500	475,4	469,4	461,8	452,2	440,6	426,4	
560	532,6	525,6	517,2	506,6			
630	599,2	591,4	581,8	570,0			
710	675,2	666,4	655,6				
800	760,8	751,0	738,8				
900	856,0	844,8					
1.000	951,0	938,8					

Video nº 4.3. Diámetro nominal, interior y exterior.

La unión entre tubos se materializa mediante junta elástica o encolada. Las juntas encoladas no se recomiendan para ϕ superiores a 90 mm.

Otras formas de unión son la unión gibault, universal, bridas, etc...



Unión gibault



Unión universal



Unión por bridas

⇒ Las tuberías de PVC deben ser protegidas del sol y de T^a superiores a 45°C, ambos aspectos deberán de ser contemplados a nivel de proyecto, en relación a los acopios y/o instalaciones aéreas.

4. Tuberías de polietileno (PE)

El polietileno fue sintetizado por primera vez en 1898 en Alemania, por accidente mientras se calentaba en una estufa diazometano, obteniéndose una sustancia grasosa y blanca, que una vez analizada se descubrió que estaba compuesta de largas cadenas de -CH₂-, llamándolo polimetileno.

En 1933, en Inglaterra, fue sintetizado tal como lo conocemos hoy en día, aplicando una presión de aproximadamente 1.400 bar y una temperatura de 170 °C en un Autoclave, obteniendo el material de alta viscosidad y color blanquecino que se conoce hoy en día.

En la actualidad, para la fabricación de PE, existen dos procesos:

1. Proceso de alta presión
2. Proceso de baja presión

La **polimerización llevada a cabo a altas presiones** (250-300 atm.) da como resultado el polietileno de Baja densidad (**PEBD**). El polietileno polimerizado en este proceso cristaliza al enfriar la masa fundida, ordenándose las largas cadenas moleculares en subsectores cristalinos. La proporción de zona cristalina ronda el 50%, por estar las cadenas que forman la molécula de polietileno muy ramificadas. La mayor presencia de zonas amorfas y la dificultad de agrupación por el alto grado de ramificación, conlleva una baja densidad del material que oscila entre 0.910 y 0.930 gr/cm³.

La **polimerización llevada a cabo a bajas presiones**, 30-40 atm., da como resultado el polietileno de Alta densidad (**PEHD** o **PEAD**). La cristalinidad llega, en este caso, hasta el 85% y las cadenas moleculares que forman el polímero están muy poco ramificadas, formando una estructura lineal. El predominio de las zonas cristalinas facilita la agrupación y empaquetamiento de las moléculas y, por lo tanto, una mayor densidad del material que oscila entre 0.940 y 0.960 gr/cm³.

Entre ambos, y aplicando presiones medias, se obtiene el PE de media densidad, así tenemos:

	BAJA DENSIDAD	MEDIA DENSIDAD	ALTA DENSIDAD
Presión en la polimerización	Alta	Media	Baja
Grado de ramificación	Alta	Media	Baja
Zona cristalina	50%	75%	85%
Densidad	0.910-0.930	0.930-0.940	0.940-0.960

Las normas EN han venido a sustituir esta denominación de baja, media y alta densidad por la siguiente, en la que se usa las siglas **PE** y el coeficiente **MRS⁴**: PE 40, PE 63, PE 80 y PE 100.

No existe correspondencia exacta, si bien PE 40 es un PEBD y PE 100 es un PEAD.

Video nº 4.4. Determinación de la PN según el coeficiente MRS

⇒ La tubería de PE se sirve en tubos de 6 y 12 m, y en rollos de hasta 100 m para diámetros pequeños (<90).

Las propiedades particulares del PE son:

- Flexibilidad: Se acomoda al terreno sinuoso.
- No tóxico.
- Gran resistencia al impacto: Resistente a golpes y terreno pedregoso.
- Resistente a la radiación solar, para ello se le añade un componente al PE llamado comúnmente negro humo.
- Instalación rápida, sobre todo cuando se sirve en rollos → requiere menos uniones y menos mano de obra para su instalación

⁴ MRS: Tensión Mínima Requerida en N/mm². Es el valor del límite inferior de confianza aproximado por defecto al número más próximo de una serie de números normalizados.

Por otro lado, es un material muy susceptible a las fuentes de calor externas (coeficiente de dilatación de 0,22 mm/m °C), lo que debe ser tenido en cuenta es instalaciones sometidas a variaciones de temperatura importantes.

Las tuberías de PE⁵, para cumplir con sus requisitos de funcionalidad deberán atenerse a las normas UNE y/o EN. Los organismos de certificación, como AENOR, controlan el correcto cumplimiento de las normas, certificando los productos.

Los diámetros más usados comercialmente son:

Polietileno Baja Densidad PE 40 4 ATM		Polietileno Baja Densidad PE 40 6 ATM		Polietileno Baja Densidad PE 40 10 ATM	
Ø Nom	Ø Int.	Ø Nom	Ø Int.	Ø Nom	Ø Int.
		20	16	20	14,4
25	21	25	20,4	25	18
32	28	32	26,2	32	23,2
40	35,2	40	32,6	40	29
50	44	50	40,8	50	36,2
63	55,4	63	51,4	63	45,8
75	66	75	61,4	75	54,4
90	79,2	90	73,6	90	65,4

Polietileno Alta Densidad PE 80 8 ATM		Polietileno Alta Densidad PE 80 12,5 ATM	
Ø Nom	Ø Int.	Ø Nom	Ø Int.
20		20	16
25	21	25	20,4
32	28	32	26,2
40	35,2	40	32,6
50	44	50	40,8
63	55,4	63	51,4
75	66	75	61,4
90	79,2	90	73,6
110	96,8	110	90
125	110	125	102,2

⁵ Normas UNE-EN 12201 y UNE-EN 13244 para abastecimiento y UNE-EN 12666 para saneamiento.

Polietileno Alta Densidad PE 80 8 ATM		Polietileno Alta Densidad PE 80 12,5 ATM	
Ø Nom	Ø Int.	Ø Nom	Ø Int.
140	123	140	114,6
160	141,6	160	130,8

Polietileno Alta Densidad PE 100 6 ATM		Polietileno Alta Densidad PE 100 10 ATM		Polietileno Alta Densidad PE 100 16 ATM	
Ø Nom	Ø Int.	Ø Nom	Ø Int.	Ø Nom	Ø Int.
50	46	50	44	50	40,8
63	58,4	63	55,4	63	51,4
75	69,6	75	66	75	61,4
90	83,4	90	79,2	90	73,6
110	102	110	96,8	110	90
125	116	125	110,2	125	102,2
140	129,8	140	123,4	140	114,6
160	148,4	160	141	160	130,8
180	167	180	158,6	180	147,2
200	185,6	200	176,2	200	163,6
250	232	250	220,4	250	204,6
315	290,8	315	277,6	315	257,8
350	324,4	350	307,8	350	285,6

Respecto a los sistemas de unión, existen 3 métodos:

- Unión soldada térmicamente a tope
- Unión por electrofusión (Manguitos)
- Unión mediante accesorios mecánicos



Tubos de PEAD unidos por manguitos



Codo de PE soldados a tope, y con manguito al tubo.



Maquina de soldadura a tope



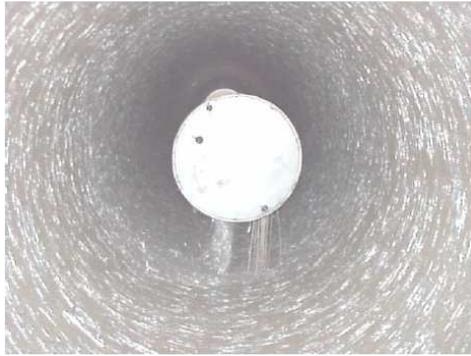
Accesorios mecánicos de unión (PVC/PE)

5. Tuberías de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)

Los tubos de PRFV tuvieron sus orígenes en los años 1950 y fueron inicialmente concebidos para la industria petrolífera y la química. Para el transporte de agua comenzaron a utilizarse en los años 1960.

Este tipo de tuberías se fabrican a partir de resina de poliéster, fibra de vidrio, y partículas de cuarzo.

Para su fabricación existen varios métodos: centrifugado, bobinado,...



Fabricación por centrifugado



Descarga de tubo de PRFV

Sus aplicaciones son:

- Conducciones y redes de distribución de agua (potable y bruta)
- Conducciones y redes de riego
- Conducciones y redes de saneamiento
- Colectores e impulsiones de aguas residuales
- Colectores para aguas pluviales
- Colectores para estaciones desaladoras
- Colectores para estaciones depuradoras

- Tuberías de carga de centrales hidroeléctricas
- Emisarios submarinos, tomas de agua de mar y sistemas de refrigeración
- Sistemas de alimentación, circulación y evacuación de agua en centrales eléctricas
- Aplicaciones industriales (plantas químicas, alimenticias,...)
- Tuberías de hinca

Propiedades características:

- Excelente resistencia a la abrasión y al ataque químico.
- Alta resistencia mecánica
- Ligereza

⇒ Los rellenos de zanja (cama y riñones) deben estar adecuadamente compactados.

Los tubos de PRFV deberán cumplir con la norma UNE 53323:2001 EX. *Sistemas de canalización enterrados de materiales plásticos para aplicaciones con y sin presión. Plásticos termoestables reforzados con fibra de vidrio (PRFV) basados en resinas de poliéster insaturado (UP).*

Para clasificar las tuberías de PRFV, además de su diámetro y presión nominal, se atiende al criterio de Rigidez nominal (SN). Que es la rigidez circunferencial específica a corto plazo⁶ (S_0), expresada en N/m². Los valores normalizados para SN 53323:2001 EX son los siguientes:

2.000 - 2.500 - 4.000 - 5.000 - 8.000 - 10.000

⁶ Rigidez circunferencial específica (S_c). Característica mecánica del tubo que representa su rigidez a flexión transversal por unidad de longitud del mismo a corto o a largo plazo.

Las dimensiones normalizadas son:

Rigidez SN 2.500						
Ø Nom	Ø Ext.		e mínimo			
	máx.	min.	PN 6	PN 10	PN 16	PN 20
300	324,5	323,4	4,1	3,9	3,8	3,8
350	376,4	375,4	4,8	4,4	4,3	4,3
400	427,3	426,3	5,3	4,9	4,8	4,8
450	478,2	477,2	5,9	5,4	5,2	5,2
500	530,1	529,1	6,5	5,9	5,7	5,7
600	617	616	7,5	6,8	6,5	6,5
700	719	718	8,6	7,8	7,5	7,4
800	821	820	9,7	8,8	8,4	8,4
900	924	923	10,9	9,8	9,4	9,3
1000	1025	1024	12,1	10,8	10,3	10,2
1200	1229	1228	14,4	12,8	12,2	12,1
1400	1433	1432	16,7	14,8	14,1	14,0
1600	1637	1636	19,0	16,8	15,9	
1800	1841	1840	21,2	18,8	17,8	
2000	2045	2044	23,5	20,9	19,7	
2400	2453	2452	28,0	24,8	23,4	

Rigidez SN 5.000							
Ø Nom	Ø Ext.		e mínimo				
	máx	min.	PN 6	PN 10	PN 16	PN 20	PN 25
300	324,5	323,4	5,0	4,9	4,6	4,6	4,6
350	376,4	375,4	5,8	5,6	5,3	5,2	5,2
400	427,3	426,3	6,5	6,2	5,9	5,8	5,8
450	478,2	477,2	7,4	6,9	6,5	6,4	6,4
500	530,1	529,1	8,1	7,6	7,1	7,0	7
600	617	616	9,3	8,7	8,1	8,0	8
700	719	718	10,7	10,0	9,4	9,2	9,1
800	821	820	12,2	11,4	10,6	10,4	10,3
900	924	923	13,6	12,7	11,8	11,6	11,5
1000	1025	1024	15,1	14,1	13,0	12,8	12,7
1200	1229	1228	17,9	16,7	15,4	15,1	15
1400	1433	1432	20,8	19,4	17,9	17,5	17,3
1600	1637	1636	23,7	22,1	20,3		
1800	1841	1840	26,5	24,8	22,7		
2000	2045	2044	29,4	27,4	25,1		
2400	2453	2452	36,9				

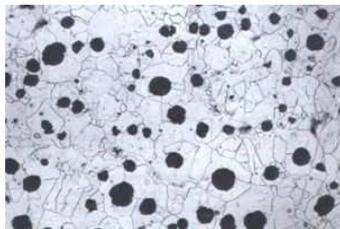
Rigidez SN 10.000							
Ø Nom	Ø Ext.		e mínimo				
	máx	min.	PN 6	PN 10	PN 16	PN 20	PN 25
100	116	115,5		2,9	2,9		

Rigidez SN 10.000							
Ø Nom	Ø Ext.		e mínimo				
	máx	min.	PN 6	PN 10	PN 16	PN 20	PN 25
150	168	167,5		4,1	4,1		
200	220,5	220		5,3	5,3		
250	272,1	271,6		6,4	6,4		
300	324,5	324	6,1	6,1	5,8	5,7	5,6
350	376,4	375,4	7,1	7,1	6,6	6,4	6,3
400	427,3	426,3	8,1	8,0	7,4	7,2	7,1
450	478,2	477,2	9,1	9,0	8,2	8,0	7,9
500	530,1	529,1	10,0	9,8	9,0	8,8	8,6
600	617	616	11,5	11,4	10,4	10,1	9,9
700	719	718	13,3	13,2	12,0	11,6	11,4
800	821	820	15,1	15,0	13,6	13,1	12,9
900	924	923	17,0	16,8	15,2	14,7	14,4
1000	1025	1024	18,7	18,7	16,8	16,2	15,9
1200	1229	1228	22,3	22,3	20,0	19,3	18,9
1400	1433	1432	25,9	25,9	23,2	22,4	21,9
1600	1637	1636	29,5	29,5	26,3		
1800	1841	1840	34,7	34,7			
2000	2045	2044					
2400	2453	2452					

6. Tuberías de de fundición

Los tubos de fundición dúctil son utilizados en Europa desde el año 1948. Desplazaron a la antigua fundición gris (de menor resistencia y susceptible de sufrir roturas frágiles), la cual era empleada desde mucho más antiguo (siglo XVIII).

La fundición dúctil, conocida también como fundición nodular o de grafito esferoidal, es aquella en la que el grafito se presenta principalmente en forma de esferas.



Micrografía de la Fundición Dúctil (de grafito esferoidal)



Micrografía de la Fundición Gris (de grafito laminar)

La composición química de la fundición debe ser la adecuada para que con ella se alcancen las características mecánicas normalizadas⁷.

Se fabrican mediante colada en molde o colada por centrifugación en molde, y post-tratamientos térmicos.

Su principal característica es su alta resistencia a la presión hidráulica interior. Siendo su mayor desventaja, que al tratarse de tubos metálicos, necesitan protección contra la corrosión:

→ Exterior: revestimiento o protección catódica.

→ Interior: revestimiento.

Revestimientos habituales en los tubos y piezas de fundición
(UNE-EN 545:1995)

	<i>Revestimiento exterior</i>	<i>Revestimiento interior</i>
Tubos	Cinc metálico con capa de acabado	Mortero de cemento Cinc/Aluminio (85/15)
Piezas especiales	Pintura	Pintura
Enchufes	Cinc metálico con capa de acabado Cinc/Aluminio (85/15)	Pintura
Bridas	Pintura	—

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.

Para denominar un tubo de fundición unido mediante unión flexible se utiliza su diámetro nominal (DN) y clase de espesor (K). Las clases de espesor normalizadas son: 8-9-10-11-12-14. El valor de K relaciona el espesor y DN mediante la siguiente expresión:

⁷ UNE-EN 545:1995. Tubos, uniones y accesorios en fundición dúctil y sus uniones para canalización de agua. Prescripciones y métodos de ensayo.

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

Los valores frecuentes son:

K	Uso
9	tubos con unión flexible
9, 10, 12 y 14	tubos con bridas
12 y 14	piezas especiales

En el caso de unión por bridas, hay que indicar la PN de las bridas⁸.

Video nº 4.5. Clasificación de tubos de fundición.

Existe una nueva denominación, introducida en los últimos años, la **clase 40**, que no responde a la ecuación anterior, sus espesores son inferiores a la clase K9. El espesor de esta nueva clase atiende al siguiente criterio: *es un valor tal que garantiza que el tubo resista una PFA⁹ de 4 N/mm² con un coeficiente de seguridad de, como mínimo, 3 (con un valor mínimo del espesor de 4,8 mm).*

Las dimensiones normalizadas, sin contemplar tolerancias, son:

Ø Nom	Ø Ext.	e mínimo			Ø Int.		
		Clase 40	K9	K10	Clase 40	K9	K10
40	56	4,8	6,0	6,0	46,4	44,0	44,0
50	66	4,8	6,0	6,0	56,4	54,0	54,0
60	77	4,8	6,0	6,0	67,4	65,0	65,0
65	82	4,8	6,0	6,0	72,4	70,0	70,0
80	98	4,8	6,0	6,0	88,4	86,0	86,0
100	118	4,8	6,0	6,0	108,4	106,0	106,0
125	144	4,8	6,0	6,3	134,4	132,0	131,4
150	170	5,0	6,0	6,5	160,0	158,0	157,0
200	222	5,4	6,3	7,0	211,2	209,4	208,0
250	274	5,8	6,8	7,5	262,4	260,4	259,0
300	326	6,2	7,2	8,0	313,6	311,6	310,0
350	378	7,0	7,7	8,5	364,0	362,6	361,0

⁸ El tubo en sí soportaría presiones superiores a las soportables por la brida.

⁹ Presión máxima que un componente es capaz de resistir de forma permanente en servicio, ver

tema 5.

Ø Nom	Ø Ext.	e mínimo			Ø Int.		
		Clase 40	K9	K10	Clase 40	K9	K10
400	429	7,8	8,1	9,0	413,4	412,8	411,0
450	480		8,6	9,5		462,8	461,0
500	532		9,0	10,0		514,0	512,0
600	635		9,9	11,0		615,2	613,0
700	738		10,8	12,0		716,4	714,0
800	842		11,7	13,0		818,6	816,0
900	945		12,6	14,0		919,8	917,0
1.000	1.048		13,5	15,0		1.021,0	1.018,0
1.100	1.152		14,4	16,0		1.123,2	1.120,0
1.200	1.255		15,3	17,0		1.224,4	1.221,0
1.400	1.462		17,1	19,0		1.427,8	1.424,0
1.500	1.565		18,0	20,0		1.529,0	1.525,0
1.600	1.668		18,9	21,0		1.630,2	1.626,0
1.800	1.875		20,7	23,0		1.833,6	1.829,0
2.000	2.082		22,5	25,0		2.037,0	2.032,0

Los tubos con bridas de PN25 y PN40 tienen limitado el DN a un valor máximo de 1.600 y 600 mm., respectivamente.

Los tipos de uniones habituales en los tubos de fundición son, las ya comentadas, flexibles o por bridas:

1. Uniones flexibles. Podemos encontrar:

- Unión de enchufe y extremo liso. Obtiene la estanquidad por la simple compresión de un anillo elastomérico.
- Unión mecánica. Los tubos a unir también están provistos de enchufe y extremo liso, si bien en este caso la estanquidad se logra por la compresión del anillo elastomérico mediante una contrabrida apretada con bulones.
- Unión acerrojada. Similar a la anterior, para los casos en los que se prevea que el tubo haya de trabajar a tracción.

2. Uniones rígidas o por de bridas. Los dos tubos a unir estarán acabados en extremo liso. Tipos:

- Bidas móviles: soldadas o roscadas
- Bidas fijas (incorporadas en la colada).

7. Tuberías de hormigón armado y pretensado

Joseph Monier (1823-1906), fabricante de macetas, comienza a experimentar con macetas de cemento armadas con una malla de alambre alrededor de 1849 pero no es hasta 1867 que obtiene una patente orientada a la construcción de macetas. En ese mismo año muestra su “invento” en la Exposición de París.

La secuencia de patentes de hormigón armado de Monier fue la siguiente:

1. 1867. Usos en horticultura (macetas)
2. 1868. Tubos y tanques
3. 1869. Paneles prefabricados para fachadas
4. 1873. Puentes carreteros y peatonales
5. 1878. Vigas

Si bien suele considerarse a Joseph Monier (1823-1906) como “el inventor” del hormigón armado a partir de su patente de 1867, la realidad es que varias personas en diferentes lugares ya venían construyendo estructuras de hormigón armado desde aproximadamente 1850, incluyéndolo al propio Monier.

Los tubos de hormigón han sido utilizados desde el siglo XIX. Los tubos de hormigón armado y/o pretensado para el transporte de agua a presión se desarrollaron con posterioridad, hacia los años 1940, originariamente en los Estados Unidos.

Los tubos de hormigón son utilizados hoy día en el caso de diámetros grandes (hasta 4.000 mm) y en presiones medias y elevadas.

Los tipos de tubos existentes son:

1. Tubos de hormigón armado sin camisa de chapa (**THAsCCh**).

Formado por una pared de hormigón, que le confiere estanquidad, y que contiene una o dos capas de armadura transversal.

2. Tubos de hormigón con armadura difusa, sin camisa de chapa (**THD**).

Formado por una pared de hormigón, que le confiere estanquidad, con una o más capas de armadura transversal y longitudinal, formadas por alambres menores de 2 mm de diámetro.

3. Tubos de hormigón armado con camisa de chapa (**THAcCCh**).

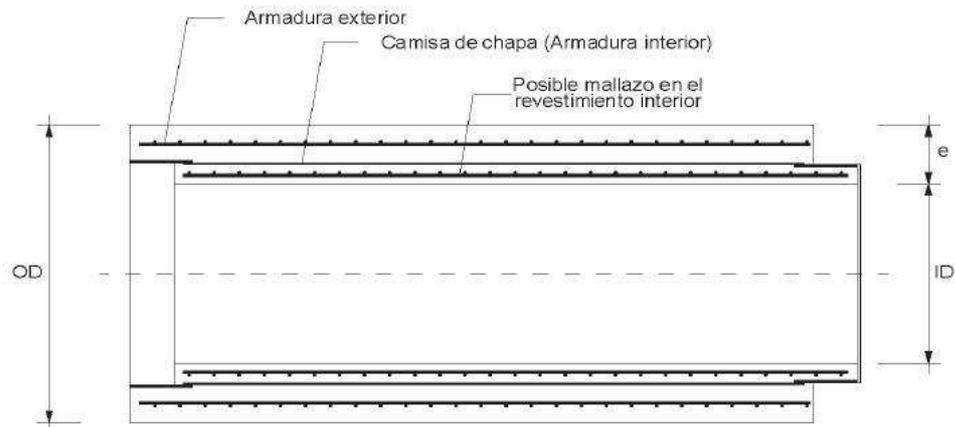
Formado por una pared de hormigón y una armadura transversal, compuesta por una o más jaulas cilíndricas y una camisa de chapa de acero soldada, que, además, es la encargada de garantizar la estanquidad.

4. Tubos de hormigón pretensados sin camisa de chapa (**THPsCCh**).

Formado por un núcleo de hormigón que le confiere estanquidad, que contiene armaduras activas o pasivas longitudinales, un alambre de acero pretesado de alta resistencia que se enrolla helicoidalmente alrededor del núcleo.

5. Tubos de hormigón pretensados con camisa de chapa (**THPcCCh**).

Formado por un núcleo de hormigón que contiene una camisa cilíndrica de chapa, que le confiere estanquidad, un alambre de acero postesado de alta resistencia que se enrolla helicoidalmente alrededor del núcleo.



Tubo de hormigón armado con camisa de chapa

Dada la baja resistencia a la tracción del hormigón, para transporte de agua a presión es necesario usar hormigón armado para resistir los esfuerzos de tracción.

⇒ La posible contaminación en terrenos con nivel freático alto, que hacen inviable el uso de tubos de hormigón **sin camisa de chapa** para el transporte de agua potable.

Por supuesto, los tubos de hormigón tiene la consideración de tubo rígido, el propio tubo es quien resiste las sollicitaciones sin contar con la ayuda del relleno, de manera que no se producen deformaciones ni roturas frágiles.

La clasificación de los tubos se realiza en base al tipo de tubo de que se trate, a su DN y a la presión máxima de diseño (MDP).

La designación genérica DN se refiere al diámetro interior, por lo que para un mismo DN los tubos admiten ser fabricados con distintos espesores, de manera que su ϕ exterior será distinto.

Respecto a la normativa de aplicación, los tubos de hormigón deben cumplir, con carácter general, con lo especificado por las normas UNE-EN desde la 639:1995 a la 642:1995.

Las dimensiones normalizadas son:

DN	Tolerancia en DN		espesores mínimos (mm)								
	Media (+/-mm)	Individual (+/- mm)	THAsCCh	THAD	THAcCCh		THAcCChP	THPCCh	THPCCh	THPM	
					Revest interior Tubo						
200	4,0	8									
250	5,0	10			15	50	40				
300	6,0	12	60	40	15	50	40				
400	8,0	16	60	40	15	50	40				
500	8,5	17	60	40	20	55	45	50	40	45	
600	9,0	18	65	45	20	60	45	50	40	45	
700	9,5	19	65	45	20	65	45	50	40	50	
800	10,0	20	70	50	20	70	45	50	45	55	
900	10,5	21	75	55	20	75	45	55	45	60	
1.000	11,0	22	85	60	20	80	50	65	50	65	
1.100	11,5	23	90	65	25	85	50	70	50	70	
1.200	12,0	24	100	65	25	95	50	75	60	75	
1.250	12,0	24	105	70	25	100	50	75	60	80	
1.300	12,0	24	110	70	25	105	50	80	65	82	
1.400	12,0	24	115	75	25	110	50	85	70	85	
1.500	12,0	24	125	80	25	115		90	70	90	
1.600	12,0	24	135		25	125		100	75	95	
1.800	12,0	24	150		30	140		115	75	105	
2.000	12,0	24	165		40	155		125	80	115	
2.100	12,0	24	180		40	165		130	85	120	
2.200	12,0	24	185		40	170		135	90	125	
2.400	12,0	24	200		45	185		145	100	135	
2.500	12,0	24			45	195		150	100	140	
2.600	12,0	24			45	200		160	110	145	
2.800	12,0	24			45	215		170	120	155	
3.000	12,0	24			45	220		180	130	165	
3.200	12,0	24			45	230		190	140		
3.500	12,0	24			50	250		210	160		
4.000	12,0	24			55	290		240	180		

8. Tuberías de acero

Los tubos de acero para el transporte de agua son usados desde hace muchos años (primeros usos en minería, EEUU mediados del XIX). Hacia la década de los 30 (s.XX) se desarrollaron técnicas como la soldadura helicoidal de los tubos actuales.

Su aplicación más indicada es para diámetros desde 500 a 2.500 mm, para elevadas presiones interiores (hasta incluso cerca de 10 N/mm^2), donde se aprovechan sus altas capacidades mecánicas. Así mismo se suelen usar como camisa en hincas, además de elemento perforante.



Hinca con tubo de acero



*Tubo de acero como camisa de paso en
hinca.*

Los tubos pueden ser de los siguientes tipos:

- Tubos sin soldadura. Fabricados por extrusión, en frío o caliente.
- Tubos soldados. Fabricados por conformado y posterior soldado de sus bordes.

En hidráulica lo habitual es el uso de tubos de acero con soldadura helicoidal.

En los tubos de acero el diámetro nominal (DN) se refiere al diámetro exterior, siendo fabricados en distintos espesores, con lo que el ϕ interior será variable.

Al igual que en la fundición, no se usa el concepto PN, a no ser que el tipo de unión sea por bridas.

Para la clasificación del tubo se indicara además la calidad del acero, según UNE- EN 10.025:1994.

Respecto a la normativa específica sobre tubos de acero, no hay norma UNE, si norma europea, aunque en proyecto: prEN 10224:1998.



Tubos de acero

Las dimensiones normalizadas son:

	e(mm)								
	3,2	3,6	4	4,4	4,8	5,2	5,6	6,4	7,1
\emptyset Nom	\emptyset Int.								
168,3	161,9	161,1	160,3	159,5	158,7	157,9	157,1	155,5	
219,1	212,7	211,9	211,1	210,3	209,5	208,7	207,9	206,3	
273,1	266,7	265,9	265,1	264,3	263,5	262,7	261,9	260,3	258,9
323,9			315,9	315,1	314,3	313,5	312,7	311,1	309,7
355,6			347,6	346,8	346,0	345,2	344,4	342,8	341,4
406,4				397,6	396,8	396,0	395,2	393,6	392,2
457,0					447,4	446,6	445,8	444,2	442,8
508,0					498,4	497,6	496,8	495,2	493,8
559,0					549,4	548,6	547,8	546,2	544,8
610,0						599,6	598,8	597,2	595,8
660,0						649,6	648,8	647,2	645,8
711,0							699,8	698,2	696,8
762,0								749,2	747,8
813,0								800,2	798,8
864,0								851,2	849,8
914,0								901,2	899,8
1.016,0								1.003,2	1.001,8

	e(mm)										
	7,1	7,9	8,7	9,5	10,3	11,1	11,9	12,7	14,3	15,9	17,5
\emptyset Nom	\emptyset Int.										
323,9		308,1									
355,6		339,8									
406,4		390,6	389,0								
457,0		441,2	439,6	438,0							
508,0		492,2	490,6	489,0	487,4	485,8					
559,0		543,2	541,6	540,0	538,4	536,8	535,2				
610,0		594,2	592,6	591,0	589,4	587,8	586,2	584,6	581,4		
660,0		644,2	642,6	641,0	639,4	637,8	636,2	634,6	631,4		

	e(mm)										
	7,1	7,9	8,7	9,5	10,3	11,1	11,9	12,7	14,3	15,9	
\emptyset Nom	\emptyset Int.										
711,0		695,2	693,6	692,0	690,4	688,8	687,2	685,6	682,4		
762,0		746,2	744,6	743,0	741,4	739,8	738,2	736,6	733,4	730,2	747,8
813,0		797,2	795,6	794,0	792,4	790,8	789,2	787,6	784,4	781,2	798,8
864,0		848,2	846,6	845,0	843,4	841,8	840,2	838,6	835,4	832,2	849,8
914,0		898,2	896,6	895,0	893,4	891,8	890,2	888,6	885,4	882,2	899,8
1.016,0		1.000,2	998,6	997,0	995,4	993,8	992,2	990,6	987,4	984,2	1.001,8
1.067,0	1.052,8	1.051,2	1.049,6	1.048,0	1.046,4	1.044,8	1.043,2	1.041,6	1.038,4	1.035,2	1.052,8
1.118,0	1.103,8	1.102,2	1.100,6	1.099,0	1.097,4	1.095,8	1.094,2	1.092,6	1.089,4	1.086,2	1.103,8
1.168,0	1.153,8	1.152,2	1.150,6	1.149,0	1.147,4	1.145,8	1.144,2	1.142,6	1.139,4	1.136,2	1.153,8
1.219,0	1.204,8	1.203,2	1.201,6	1.200,0	1.198,4	1.196,8	1.195,2	1.193,6	1.190,4	1.187,2	1.204,8
1.270,0	1.255,8	1.254,2	1.252,6	1.251,0	1.249,4	1.247,8	1.246,2	1.244,6	1.241,4	1.238,2	1.255,8
1.321,0	1.306,8	1.305,2	1.303,6	1.302,0	1.300,4	1.298,8	1.297,2	1.295,6	1.292,4	1.289,2	1.306,8
1.422,0	1.407,8	1.406,2	1.404,6	1.403,0	1.401,4	1.399,8	1.398,2	1.396,6	1.393,4	1.390,2	1.407,8
1.524,0	1.509,8	1.508,2	1.506,6	1.505,0	1.503,4	1.501,8	1.500,2	1.498,6	1.495,4	1.492,2	1.509,8
1.626,0	1.611,8	1.610,2	1.608,6	1.607,0	1.605,4	1.603,8	1.602,2	1.600,6	1.597,4	1.594,2	1.611,8
1.727,0	1.712,8	1.711,2	1.709,6	1.708,0	1.706,4	1.704,8	1.703,2	1.701,6	1.698,4	1.695,2	1.712,8
1.829,0	1.814,8	1.813,2	1.811,6	1.810,0	1.808,4	1.806,8	1.805,2	1.803,6	1.800,4	1.797,2	1.814,8
1.930,0	1.915,8	1.914,2	1.912,6	1.911,0	1.909,4	1.907,8	1.906,2	1.904,6	1.901,4	1.898,2	1.915,8
2.032,0	2.017,8	2.016,2	2.014,6	2.013,0	2.011,4	2.009,8	2.008,2	2.006,6	2.003,4	2.000,2	2.017,8

De igual manera que los tubos de fundición, la principal desventaja de los tubos de acero es su baja resistencia a la corrosión, es por ello los tubos y piezas especiales de acero deben contar con un sistema de protección contra la misma, tanto exterior como interior. Sistemas de protección que se clasifican en dos grupos:

- a) Protección catódica
- b) Protección mediante revestimientos

Cualquiera que sean los revestimientos utilizados deben reunir, entre otras, las siguientes condiciones:

- Protección del acero contra el medio corrosivo en que esté situado
- Impermeabilidad al medio corrosivo
- Buena adherencia a la superficie de la tubería a proteger
- Resistencia a la abrasión, choques, variaciones de temperatura, etc.

→ Baja rugosidad, en el caso de protecciones interiores

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

1. Uniones rígidas: Soldadas o con bridas (en $\phi < 400$ mm)
2. Uniones flexibles: Uniones con enchufe y anillo elastomérico.

(Muy poco usada)



Unión por bridas

9. Pérdidas de carga localizadas

Al atravesar el flujo ciertos puntos singulares dentro de una conducción, como pueden ser codos, derivaciones, válvulas, cambios de sección y cualesquiera otras piezas especiales, se producen unos fenómenos de turbulencia que originan la aparición de pérdidas energéticas distintas a las pérdidas por rozamiento. Dichas pérdidas se denominan pérdidas de carga localizadas o pérdidas de carga singulares.

La formula general para calcularlas, es la siguiente:

$$h_l = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

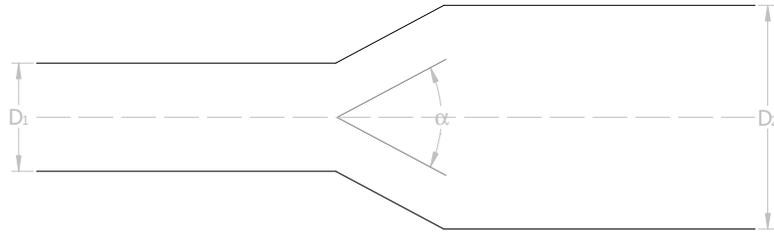
Donde K es un coeficiente cuyo valor depende de la singularidad que se trate:

Singularidad	K
Válvula esférica (totalmente abierta)	10
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5
Válvula de retención (totalmente abierta)	2
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-
T por salida lateral	1,8
Codo a 90º de radio corto (con bridas)	0,9
Codo a 90º de radio normal (con bridas)	0,75
Codo a 90º de radio grande (con bridas)	0,6
Codo a 45º de radio corto (con bridas)	0,45
Codo a 45º de radio normal (con bridas)	0,4
Codo a 45º de radio grande (con bridas)	0,35
Expansión gradual o cónica	$m \cdot \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)^2$

El coeficiente m es función del ángulo de la expansión:

$\alpha(^{\circ})$	m
4	0,15
6	0,13
8	0,17
10	0,30
15	0,40

$\alpha(^{\circ})$	m
20	0,70
30	0,95
40	1,1
50	1,2
180	1



Video nº 4.6. Pérdida de carga en una válvula hidráulica.

