

ANEXO E2 – Bases de cálculo de tuberías

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Cálculo general de tuberías	5
2.1. Densidad i caudal volumétrico	5
2.2. Selección del Material.....	6
2.2.1. Selección del Material según DIN	6
2.2.2. Selección del Material según ANSI	7
2.3. Presión nominal, PN [bar]	7
2.3.1. Selección del PN según DIN	8
2.3.2. Selección del PN según ANSI	8
2.4. Diámetro nominal, DN (propuesto)	12
2.5. Cálculo Espesor mínimo, e [mm]	13
2.5.1. Cálculo del espesor según la normativa DIN	13
2.5.2. Cálculo del espesor según la normativa ANSI	15
2.6. Espesor pedido, e_{ord} [mm]	16
2.7. Espesor pedido (e_{ord}) → Tubos normalizados.....	17
2.7.1. Selección del tubo normalizado según la normativa DIN	18
2.7.2. Selección del tubo normalizado según la normativa ANSI	19
2.8. Este tubo responde a:.....	20
2.9. Velocidad.....	20
2.10. Pérdida de carga lineal.....	21
2.11. Longitud y longitud equivalente de accesorios	22
2.12. Pérdida de carga total	24
2.12.1. Pérdida de carga total para fluidos incompresibles.	24
2.12.2. Pérdida de carga total para fluidos compresibles.	24
2.13. Potencia de bomba	24
2.14. Aislamiento térmico de tuberías	25
3. Cálculos específicos de tuberías de agua	26
3.1. Densidad del agua.....	26
3.2. Diámetro Nominal propuesto para Agua	26
3.3. Cálculo Pérdida de Carga lineal para fluidos incompresibles, Agua.....	27
4. Cálculos específicos de tuberías de vapor	29
4.1. Densidad del Vapor de agua	29



4.2.	Diámetro nominal propuesto para Vapor de agua.....	30
4.3.	Cálculo de la pérdida de carga lineal para fluidos compresibles, Vapor de agua.	30
5.	Cálculos específicos para tuberías de Gas Natural	31
5.1.	Densidad del Gas Natural.....	31
5.2.	Diámetro Nominal propuesto para Gas Natural	32
5.3.	Cálculo de la pérdida de carga lineal para fluidos compresibles, Gas Natural	32
6.	Cálculo específico para tuberías de Aire comprimido	33
6.1.	Densidad del Aire	33
6.2.	Diámetro nominal propuesto para tuberías de Aire Comprimido	33
6.3.	Cálculo de la pérdida de carga lineal para fluidos compresibles, Aire comprimido	34



1. INTRODUCCIÓN

En este procedimiento se describe el método de cálculo de tuberías que utiliza la aplicación Excel para el cálculo de tuberías, “Listado Conexiones”, desarrollada por la empresa de ingeniería AESA. Consta de dos partes diferenciadas, en primer lugar se describen los cálculos generales, comunes para todos los fluidos y en segundo lugar se describen los cálculos y propiedades específicos/as para los distintos fluidos. Se observará que el método de cálculo en alguno de los puntos es distinto según se considere la normativa europea/española (UNE) o estadounidense (ANSI).

Para cualquier fluido a presión, el método de cálculo general sigue el mismo esquema:

- PASO 0: Importar valores iniciales del Tsys.
- PASO 1: Densidad y caudal volumétrico.
 - Agua (apartado 3.1, pág. 26)
 - Vapor (apartado 4.1, pág. 29)
 - Gas Natural (apartado 5.1, pág. 31)
 - Aire Comprimido (apartado 6.1, pág. 33)
- PASO 2: Selección del Material.
- PASO 3: Presión Nominal.
- PASO 4: Diámetro Nominal.
 - Agua (apartado 3.2, pág. 26)
 - Vapor (apartado 4.2, pág. 30)
 - Gas Natural (apartado 5.2, pág. 32)
 - Aire Comprimido (apartado 6.2, pág. 3333)
- PASO 5: Espesor mínimo (+ Cálculo tensión admisible del material).
- PASO 6: Espesor pedido.
- PASO 7: Tubo Normalizado.
- PASO 8: Velocidad.



- PASO 9: Pérdida de Carga Lineal.
 - Agua (apartado 3.3, pág. 27)
 - Vapor (apartado 4.3, pág. 3030)
 - Gas Natural (apartado 5.3, pág. 32)
 - Aire Comprimido (apartado 6.3, pág. 3434)

- PASO 10: Longitud y longitud equivalente.

- PASO 11: Pérdida de Carga Total.

- PASO 12: Aislamiento térmico de Tuberías.

En los siguientes apartados se describe la metodología incorporada en la aplicación Excel para el cálculo de tuberías de los distintos fluidos considerados.



2. CÁLCULO GENERAL DE TUBERÍAS

Datos TESYS:

- Fluido (agua, vapor, gas natural, gases de escape, fuel óleo, aceite térmico, ...)
- Presión (P, bar)
- Temperatura (T, °C),
- Caudal másico (q, t/h para vapor/agua, kg/s para el resto)
- Para el caso de agua
 - o Título
 - o Tipo (aspiración o impulsión)

2.1. Densidad i caudal volumétrico

La densidad al ser una propiedad propia del fluido se calcula individualmente, a continuación se indica en qué apartado de este procedimiento se debe recurrir para encontrar la densidad:

- Agua (apartado 3.1, pág. 26)
- Vapor (apartado 4.1, pág. 29)
- Gas Natural (apartado 5.1, pág. 31)
- Aire Comprimido (apartado 6.1, pág. 33)
- Fuel óleo (apartado 7.1, pág. **¡Error! Marcador no definido.**)
- Aceite térmico (apartado 8.1, pág. **¡Error! Marcador no definido.**)

El caudal volumétrico [m^3/h o m^3/s] se calcula mediante la densidad [kg/m^3] y el caudal másico [t/h o kg/s , según el fluido]: Caudal volumétrico = Caudal másico / densidad

El caudal másico se expresa en t/h para el agua y el vapor de agua mientras que para el resto de fluidos se expresa en kg/s.

Así mismo, el caudal volumétrico se expresa en m^3/h para los líquidos (agua, fuel, aceite térmico) y vapor, y en m^3/s para los gases (gas natural, gases calientes y aire).



2.2. Selección del Material

La selección del material se realiza según la temperatura de diseño del fluido, debiéndose tener en cuenta que la tubería nunca deberá trabajar a temperaturas por encima del valor máximo aceptable del material.

Los materiales de a continuación han sido elegidos, de entre la totalidad disponible, de acuerdo con el departamento de ingeniería de AESA, y son susceptibles de incrementarse en el futuro, así como eliminar los no utilizados.

2.2.1. Selección del Material según **DIN**

Los materiales más comunes, aceptados por la norma DIN, se muestran en la Tabla 2 del apartado 2.5.1, así como su temperatura máxima de diseño.

La **aplicación Excel** selecciona el material automáticamente entre los siguientes materiales:

- **St 37.0:** Acero no aleado (acero al carbono), para temperaturas inferiores a 250°C.
- **St 35.8:** Acero aleado a alta temperatura, para temperaturas comprendidas entre 250°C y 400°C.
- **13 Cr Mo 44:** Acero aleado a alta temperatura, para temperaturas superiores a 400°C. → $0,75\% \leq Cr \leq 1,5\%$ y $Mo \leq 0,7\%$

El usuario podrá modificar manualmente el material por otro más (o menos) resistente y recalcular la tubería. Los otros materiales introducidos y que por lo tanto el usuario podrá seleccionar son:

- **15 Mo 3:** Acero aleado a alta temperatura. → $0,75\% \leq Cr \leq 1,5\%$ y $Mo \leq 0,7\%$
- **10 Cr Mo 910:** Acero aleado a alta temperatura. → $1,5\% \leq Cr \leq 3,5\%$ y $0,7\% \leq Mo \leq 1,2\%$.
- **X 2 Cr Ni Mo 18143:** Acero inoxidable austenítico. → $Cr \leq 19\%$
- **X 15 Cr Ni Si 2012:** Acero resistente al calor.

En la Tabla 2 se aporta más información sobre la naturaleza del material.



2.2.2. Selección del Material según **ANSI**

Los materiales aceptados por la normativa ANSI (ASME B31.1) aparecen en los apéndices de la misma. Estos son:

- A-1 Aceros al carbono
- A-2 Aceros de baja y media aleación
- A-3 Aceros inoxidables
- A-4 Ni y aleaciones de alto Ni
- A-5 Fundición
- A-6 Cobre y aleaciones de Cu
- A-7 Aluminio y aleaciones
- A-8 Temperaturas > 1200°F
- A-9 Titanio y aleaciones

En estos apéndices aparecen las temperaturas máximas de diseño para cada material, así como la tensión admisible a distintas temperaturas, entre otras propiedades.

La **aplicación Excel** selecciona automáticamente los siguientes materiales:

- **A 106 B**: Acero al carbono, para temperaturas inferiores a 426°C. → C-Si.
- **A 335 Gr P11**: Acero aleado a baja o media temperatura, para temperaturas superiores a 426°C. → $1 \frac{1}{4}$ Cr – $\frac{1}{2}$ Mo - Si

El usuario podrá modificar manualmente el material por otro más (o menos) resistente y recalcular la tubería. Además también podrá seleccionar el material:

- **A 106 A**: Acero al carbono. → C-Si.
- **A 312 TP 316 L**: Acero inoxidable

2.3. Presión nominal, PN [bar]

La presión nominal, PN, es la presión máxima de agua para la cual la tubería o accesorio se ha diseñado. Para cada valor de PN, se debe introducir un coeficiente de seguridad en función de las condiciones de diseño.

La presión nominal afecta a los accesorios (bridas principalmente), a efectos de cálculo para el dimensionado de la tubería la presión nominal no tiene ninguna aplicación, es únicamente informativo.



2.3.1. Selección del PN según **DIN**

En la Tabla 1.1 se dan los valores normalizados y los generales de aplicación para tubos de acero al carbono, según la normativa DIN.

Tabla 1.1 – Presión nominal, de servicios y de prueba (valores efectivos en bar), para tubos de acero al carbono, según la naturaleza del fluido interior a la tubería. Normativa UNE.

Presión Nominal PN	Presión máxima de diseño				Presión de Prueba
	I Agua $t \leq 120^{\circ}\text{C}$ Bridas y tubos	II Agua Vapor Saturado Gases $t \leq 300^{\circ}\text{C}$ Bridas y tubos	III Vapor recalentado Gases peligrosos $t \leq 350^{\circ}\text{C} - 425^{\circ}\text{C}$		
			Bridas	Tubos	
1	1	1	-	-	2
2,5	2,5	2	-	-	4
4	4	3,2	-	-	-
6	6	5	-	-	10
10	10	8	-	-	16
16	16	13	13	10	25
25	25	20	20	16	40
40	40	32	32	25	60
64	64	50	40	40	96
100	100	80	64	64	150
125	125	100	-	80	190
160	160	125	100	100	240
200	200	160	125	125	300
250	250	200	160	160	375
320	320	250	200	200	459
400	400	320	250	250	600
500	500	400	-	-	750
640	640	500	-	-	960
800	800	640	-	-	1200
1000	1000	800	-	-	1500

Ejemplo: Determinar la presión nominal del vapor a 20 bar y 250 °C:

La temperatura de saturación del vapor de agua a 20 bar es 212 °C (según la Tabla 13). En este caso se trata de vapor recalentado, por lo tanto se debe acudir a la columna “Tubos” correspondiente al vapor recalentado y se selecciona la presión de diseño inmediatamente superior a 20 bar (25 bar) lo que corresponde a una presión nominal **PN = 40**.

2.3.2. Selección del PN según **ANSI**

La presión nominal según la norma ANSI se mide en libras (#). En la Tabla 1.2 que se muestran a continuación se dan estas presiones nominales según la temperatura (en°F) y la presión (en psi). Existen presiones nominales de 150, 300, 400, 600, 900, 1500 y 2500 lb.



A 106 A
A 106 B

A 335 Gr P11

A 112 TP 316L

Tabla 1.2 - Presión nominal según la normativa ANSI.

Fuente: PERRY, R H. Perry's Chemical Engineers Handbook. Mc Graw-Hill 7th edition. Sección 10-104, Tabla 10-45

PN ANSI	Material					Stainless Types				
	Carbon		1, 1 ¹ / ₄ Cr	2 ¹ / ₄ Cr	5Cr, 1 ¹ / ₂ Mo	Type 304	Type 316	Type 304L Type 316L	Type 309	Type 310
	Normal	C, 1 ¹ / ₂ Mo	1Mo	1Mo						
150 lb.										
-20 to 100	285	265	290	290	290	275	275	230	260	260
200	260	260	260	260	260	235	240	195	230	230
300	230	230	230	230	230	205	215	175	220	220
400	200	200	200	200	200	180	195	160	200	200
500	170	170	170	170	170	170	170	145	170	170
600	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
650	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
700	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
750	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
800	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
850	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
900	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
950	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
1000	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
300 lb.										
-20 to 100	740	695	750	750	750	720	720	600	670	670
200	675	680	710	715	750	600	620	505	605	605
300	655	655	675	675	730	530	560	455	570	570
400	635	640	660	650	705	470	515	415	535	535
500	600	620	640	640	665	435	480	380	505	505
600	550	605	605	605	605	415	450	360	480	480
650	535	590	590	590	590	410	445	350	465	465
700	535	570	570	570	570	405	430	345	455	455
750	505	530	530	530	530	400	425	335	445	445
800	410	510	510	510	500	395	415	330	435	435
850	270	485	485	485	440	390	405	320	425	425
900	170	450	450	450	355	385	395	320	415	415
950	105	280	380	380	260	375	385	320	385	385
1000	50	165	225	270	190	325	365	320	335	350
1050			140	200	140	310	360	320	290	335
1100			95	115	105	260	325	320	225	290
1150			50	105	70	195	275	320	170	245
1200			35	55	45	155	205	320	130	205
1250						110	180	320	100	160
1300						85	140	320	80	120
1350						60	105	320	60	80
1400						50	75	320	45	55
1450						35	60	320	30	40
1500						25	40	320	25	25
400 lb.										
-20 to 100	990	925	1000	1000	1000	960	960	800	895	895
200	900	905	950	955	1000	800	825	675	805	805
300	875	870	895	905	970	705	745	605	760	760
400	845	855	880	865	940	630	685	550	710	710
500	800	830	855	855	885	585	635	510	670	670
600	730	805	805	805	805	555	600	480	635	635
650	715	785	785	785	785	545	590	470	620	620
700	710	755	755	755	755	540	575	460	610	610
750	670	710	710	710	710	530	565	450	595	595
800	550	675	675	675	665	525	555	440	580	580
850	355	650	650	650	585	520	540	430	565	565
900	230	600	600	600	470	510	525	430	555	555
950	140	375	505	505	350	500	515	430	515	515
1000	70	220	300	355	255	430	485	430	450	465
1050			185	265	190	410	480	430	390	445
1100			130	150	140	345	430	430	300	390
1150			70	140	90	260	365	430	230	330
1200			45	75	60	205	275	430	175	275
1250						145	245	430	135	215
1300						110	185	430	105	160
1350						85	140	430	80	105
1400						65	100	430	60	75
1450						45	80	430	40	50
1500						30	55	430	30	30



PN ANSI	Material					Stainless Types				
	Carbon		1, 1 ¹ / ₄ Cr, 1Mo	2 ¹ / ₄ Cr, 1Mo	5Cr, 1 ¹ / ₂ Mo	Type 304	Type 316	Type 304L Type 316L	Type 309	Type 310
	Normal	C, 1 ¹ / ₂ Mo								
600 lb.										
-20 to 100	1480	1390	1500	1500	1500	1440	1440	1200	1345	1345
200	1350	1360	1425	1430	1500	1200	1240	1015	1210	1210
300	1315	1305	1345	1355	1455	1055	1120	910	1140	1140
400	1270	1280	1315	1295	1410	940	1030	825	1065	1065
500	1200	1245	1285	1280	1330	875	955	765	1010	1010
600	1095	1210	1210	1210	1210	830	905	720	955	955
650	1075	1175	1175	1175	1175	815	890	700	930	930
700	1065	1135	1135	1135	1135	805	865	685	910	910
750	1010	1065	1065	1065	1065	795	845	670	895	895
800	825	1015	1015	1015	995	790	830	660	870	870
850	535	975	975	975	880	780	810	645	850	850
900	345	900	900	900	705	770	790		830	830
950	205	560	755	755	520	750	755		775	775
1000	105	330	445	535	385	645	725		670	700
1050			275	400	280	620	720		585	665
1100			190	225	205	515	645		445	585
1150			105	205	140	390	550		345	495
1200			70	110	90	310	410		260	410
1250						220	365		200	325
1300						165	275		160	240
1350						125	205		115	160
1400						90	150		90	110
1450						70	115		60	75
1500						50	85		50	50
900 lb.										
-20 to 100	2220	2085	2250	2250	2250	2160	2160	1800	2015	2015
200	2025	2035	2135	2150	2250	1800	1860	1520	1815	1815
300	1970	1955	2020	2030	2185	1585	1680	1360	1705	1705
400	1900	1920	1975	1945	2115	1410	1540	1240	1600	1600
500	1795	1865	1925	1920	1995	1310	1435	1145	1510	1510
600	1640	1815	1815	1815	1815	1245	1355	1080	1435	1435
650	1610	1765	1765	1765	1765	1225	1330	1050	1395	1395
700	1600	1705	1705	1705	1705	1210	1295	1030	1370	1370
750	1510	1595	1595	1595	1595	1195	1270	1010	1340	1340
800	1235	1525	1525	1525	1490	1180	1245	985	1305	1305
850	805	1460	1460	1460	1315	1165	1215	965	1275	1275
900	515	1350	1350	1350	1060	1150	1180		1245	1245
950	310	845	1130	1130	780	1125	1160		1160	1160
1000	155	495	670	805	575	965	1090		1010	1050
1050			410	595	420	925	1080		875	1000
1100			290	340	310	770	965		670	875
1150			155	310	205	585	825		515	740
1200			105	165	135	465	620		390	620
1250						330	545		300	485
1300						245	410		235	360
1350						185	310		175	235
1400						145	225		135	165
1450						105	175		95	115
1500						70	125		70	70



PN ANSI	Material					Stainless Types				
	Carbon		1, 1 ¹ / ₄ Cr, 1Mo	2 ¹ / ₄ Cr, 1Mo	5Cr, 1 ¹ / ₂ Mo	Type 304	Type 316	Type 304L Type 316L	Type 309	Type 310
	Normal	C, 1 ¹ / ₂ Mo								
1500 lb.										
-20 to 100	3705	3470	3750	3750	3750	3600	3600	3600	3360	3360
200	3375	3395	3560	3580	3750	3000	3095	2530	3025	3025
300	3280	3260	3365	3385	3640	2640	2795	2270	2845	2845
400	3170	3200	3290	3240	3530	2350	2570	2065	2665	2665
500	2995	3105	3210	3200	3325	2185	2390	1910	2520	2520
600	2735	3025	3025	3025	3025	2075	2255	1800	2390	2390
650	2685	2940	2940	2940	2940	2040	2220	1750	2330	2330
700	2665	2840	2840	2840	2840	2015	2160	1715	2280	2280
750	2520	2660	2660	2660	2660	1990	2110	1680	2230	2230
800	2060	2540	2540	2540	2485	1970	2075	1645	2170	2170
850	1340	2435	2435	2435	2195	1945	2030	1610	2125	2125
900	860	2245	2245	2245	1765	1920	1970		2075	2075
950	515	1405	1885	1885	1305	1870	1930		1930	1930
1000	260	825	1115	1340	960	1610	1820		1680	1750
1050			685	995	705	1545	1800		1460	1665
1100			480	565	515	1285	1610		1115	1460
1150			260	515	345	980	1370		860	1235
1200			170	275	225	770	1030		650	1030
1250						550	910		495	805
1300						410	685		395	600
1350						310	515		290	395
1400						240	380		225	275
1450						170	290		155	190
1500						120	205		120	120
2500 lb.										
-20 to 100	6170	5785	6250	6250	6250	6000	6000	5000	5600	5600
200	5625	5660	5930	5965	6250	5000	5160	4220	5040	5040
300	5470	5435	5605	5640	6070	4400	4660	3780	4740	4740
400	5280	5330	5485	5400	5880	3920	4280	3440	4440	4440
500	4990	5180	5350	5330	5540	3640	3980	3180	4200	4200
600	4560	5040	5040	5040	5040	3460	3460	3000	3980	3980
650	4475	4905	4905	4905	4905	3400	3700	2920	3880	3880
700	4440	4730	4730	4730	4730	3360	3600	2860	3800	3800
750	4200	4430	4430	4430	4430	3320	3520	2800	3720	3720
800	3430	4230	4230	4230	4145	3280	3460	2740	3620	3620
850	2230	4060	4060	4060	3660	3240	3380	2680	3540	3540
900	1430	3745	3745	3745	2945	3200	3280		3460	3460
950	860	2345	3145	3145	2170	3120	3220		3220	3220
1000	430	1370	1860	2230	1600	2685	3030		2800	2915
1050			1145	1660	1170	2570	3000		2430	2770
1100			800	945	860	2145	2685		1860	2430
1150			430	860	570	1630	2285		1430	2060
1200			285	460	370	1285	1715		1085	1715
1250						915	1515		830	1345
1300						685	1145		660	1000
1350						515	860		485	660
1400						400	630		370	460
1450						285	485		260	315
1500						200	345		200	200



2.4. Diámetro nominal, DN (propuesto)

A partir del caudal volumétrico, la aplicación Excel para el cálculo de tuberías propone un diámetro nominal tal que asegure que la velocidad final del fluido esté dentro de las prácticas habituales en ingeniería, con el objetivo de controlar el ruido. Sin embargo el usuario será capaz de modificar este diámetro con tal de conseguir mayor o menor velocidad, variar el valor del mínimo espesor requerido para ahorrar costes, optimizar la pérdida de carga, etc.

A continuación se muestra donde hay que acudir, dentro de éste mismo procedimiento, para el cálculo del diámetro nominal para los distintos fluidos calculados:

- Agua (apartado 3.2, pág. 26)
- Vapor (apartado 4.2, pág. 30)
- Gas Natural (apartado 5.2, pág. 32)
- Aire Comprimido (apartado 6.2, pág. 33)
- Fuel óleo (apartado 7.2, pág. **¡Error! Marcador no definido.**)
- Aceite térmico (apartado 8.2, pág. **¡Error! Marcador no definido.**)

Los diámetros nominales normalizados son los siguientes:

DN	
(")	(mm)
$\frac{3}{8}$	10
$\frac{1}{2}$	15
$\frac{3}{4}$	20
1	25
1 $\frac{1}{4}$	32
1 $\frac{1}{2}$	40
2	50
2 $\frac{1}{2}$	63
3	80
4	100
5	125
6	150
8	200
10	250
12	300
14	350
16	400
20	500
24	600



2.5. Cálculo Espesor mínimo, e [mm]

El resultado del espesor calculado mínimo (sin márgenes ni tolerancias), depende del diámetro, la presión de diseño y la tensión admisible del material. El usuario de la **aplicación de cálculo de tuberías Excel** será capaz de modificar el valor del diámetro nominal de la tubería (DN), así como el material, con el fin de ajustar el espesor calculado a sus necesidades.

2.5.1. Cálculo del espesor según la **normativa DIN**

Según el apartado 6 de la **UNE-EN 13480-3**:

- Para $D_o/D_i \leq 1,7$:

$$e = \frac{p_c \cdot D_o}{2 \cdot f \cdot z + p_c}$$

En este momento, el diámetro interior (D_i) no es un valor conocido, así que se supondrá $D_o/D_i \leq 1,7$, ya que es lo más habitual, y se procederá a los cálculos siguientes con esta suposición. Una vez se haya seleccionado la tubería normalizada correspondiente al espesor mínimo calculado, se verificará esta comprobación con el D_i de dicha tubería.

- Para $D_o/D_i > 1,7$: → Bastante inusual.

$$e = \frac{D_o}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{fz - p_c}{fz + p_c}} \right)$$

Donde:

- D_o , diámetro exterior [mm]. Se determina directamente a partir del diámetro nominal (DN), ver Tabla 5 y Tabla 6.

- p_c , presión de diseño a la que operará la tubería [N/mm^2].

- z , es el coeficiente de unión, se toma 1 ya que no hay soldadura. El valor de este coeficiente de unión se extrae del apartado 4.5 de la norma **UNE-EN 13480-3**, que se reproduce a continuación:



4.5 Coeficiente de unión

El coeficiente de unión *z* se debe utilizar en el cálculo de los espesores de componentes que incluyan una o varias soldaduras a tope, que no sean circunferenciales, y no deben superar los valores siguientes:

- para equipos sujetos a ensayos destructivos y no destructivos que confirmen que toda serie de uniones no presenta imperfecciones importantes: 1;
- para equipos sujetos a ensayos aleatorios no destructivos: 0,85;
- para equipos no sujetos a ensayos no destructivos distintos de la inspección visual: 0,7.

Para el cálculo de la resistencia de conjuntos soldados a tope bajo condiciones de funcionamiento excepcionales o bajo condiciones de ensayo, no debe ser necesario tener en cuenta un coeficiente de unión.

- *f*, es la tensión de diseño. Calculado según la norma UNE-EN 13480-3 (apartado 5) mediante la siguiente fórmula:

$$f = \min \left[\frac{R_{eHt}}{1,5} \text{ ó } \frac{R_{p0,2t}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right]$$

Los valores *R_{eHt}* (Límite elástico), *R_{p0,2t}* (Límite de fluencia) y *R_m* (Resistencia a la tracción) son propios del material. En la siguiente tabla se pueden leer los valores *R_{p0,2t}* y *R_m* para distintos materiales. Para la selección del material (apartado 2.2) se debe tener en cuenta la temperatura máxima que soporta.

Tabla 2 - Límites de temperatura aplicables y resistencias de los aceros. Se señalan en rojo los materiales propuestos por defecto, y en negro los materiales asimismo elegibles.

GRUPO	DESIGNACIÓN		Temp. máx. °C	LÍMITES DE FLUENCIA EN N/mm ² (MPa) ⁽¹⁾												R _m
	DIN			t °C												
	17007	17006		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
Acero no aleado	1.0254	St 37.0	300	235	218	202	185	165	140	----	----	----	----	----	----	350
	1.0427	C 22.3	350	240	210	190	170	150	130	110	----	----	----	----	----	410
Aceros de construcción	1.0038	Rst 37-2	300	205	187	174	161	143	122	----	----	----	----	----	----	300
	1.0050	St 50-2	300	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	470
Alta temperatura	1.0570	St 52-3	300	315	254	240	226	206	186	----	----	----	----	----	----	490
	1.0460	C 22.8	480	240	230	210	185	165	145	125	100	80	----	----	----	410
Aceros aleados alta temperatura	1.0345	HI	480	235	218	202	185	165	140	120	110	105	----	----	----	360
	1.0425	HI1	480	265	245	225	205	185	155	140	130	125	----	----	----	410
	1.0481	17 Mn 4	500	290	275	260	245	225	205	180	155	135	----	----	----	460
	1.5415	15 Mo 3	530	275	263	252	240	220	195	185	175	170	165	----	----	440
	1.7335	13 Cr Mo 44	570	300	285	270	255	245	230	215	205	195	190	----	----	440
	1.7380	10 Cr Mo 910	600	310	288	267	245	240	230	215	205	195	185	----	----	480
	1.0305	St 35.8	480	235	218	202	185	165	140	120	110	105	----	----	----	360
Aceros estructurales	1.0562	St E 355	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	480
	1.0565	W StE 355	400	355	304	284	255	226	216	196	167	----	----	----	----	---
	1.0566	TStE 355	(-50)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---
	1.1106	ESTE 355	(-60)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---
Inox. Ferrítico	1.4511	X 6 Cr Nb 17	200	250	215	203	190	----	----	----	----	----	----	----	----	450
	1.4512	X 5 Cr Ti 12	400	260	230	210	200	195	190	185	180	----	----	----	----	390
Inox. Austenítico	1.4301	X 5 Cr Ni 1810	550	220	182	165	152	143	135	128	123	120	117	----	----	500
	1.4306	X 2 Cr Ni 1911	550	220	182	165	152	143	135	128	123	120	117	80	----	460
	1.4541	X 6 Cr Ni Ti 1810	550	230	196	186	177	164	156	147	145	147	139	118	----	500
	1.4571	X 6 Cr Ni Mo Ti	550	240	205	197	187	175	165	157	155	151	149	127	----	500
	1.4435	X 2 Cr Ni Mo 18143	550	240	186	172	157	147	138	133	128	123	120	----	----	450
	1.4465	X 2 Cr Ni Mo N 2525	550	255	195	175	155	145	135	130	125	120	115	110	----	540
	1.4539	X 2 Ni Cr Mo Cu 25205	400	220	175	165	155	145	135	130	125	----	----	----	----	520
1.4529	X 2 Ni Cr Mo Cu 25206	----	300	230	210	190	180	170	160	150	----	----	----	----	600	
Austenítico alta temperatura ⁽²⁾	1.4948	X 6 Cr Ni 1811	700	185	157	142	127	118	108	103	98	93	88	83	78	500
	1.4919	X 6 Cr Ni Mo MB	700	205	175	160	145	135	127	120	115	112	110	108	98	500
Acero resistente al calor ⁽³⁾	1.4828	X 15 Cr Ni Si 2012	1000	339	332	325	318	309	300	290	279	266	253	236	218	500
	1.4876	X 10 Ni Cr Al Ti 3220	----	210	185	170	160	150	145	138	130	128	125	120	115	450



2.5.2. Cálculo del espesor según la **normativa ANSI**

Según el apartado 2 de la norma **ASME B31.1** el espesor se calcula mediante la fórmula:

$$t_m = 0,5 \frac{P \cdot D_o}{(SE + P \cdot y)}$$

Donde:

- t_m , espesor mínimo de pared [mm].
- P, presión de diseño [kPa].
- D_o , diámetro exterior [mm]. Se determina directamente a partir del diámetro nominal (DN), ver Tabla 5 y Tabla 6.
- SE, tensión admisible del material, debida a la presión interna [kPa]. La Tabla 3 recoge las tensiones admisibles para distintas temperaturas de diseño de los materiales utilizados en la aplicación. Éstos se recogen en los Apéndices de la norma:
 - A-1 Aceros al carbono
 - A-2 Aceros de baja y media aleación
 - A-3 Inoxidables
 - A-4 Ni y aleaciones de alto Ni
 - A-5 Fundición
 - A-6 Cobre y aleaciones de Cu
 - A-7 Aluminio y aleaciones
 - A-8 Temperaturas > 1200°F
 - A-9 Titanio y aleaciones
- y, coeficiente que depende del material y la temperatura de diseño, según la Tabla 4:



**Tabla 3 - Tensiones admisibles “SE” [en ksi] para materiales ANSI a distintas temperaturas.
1 ksi = 1.000 psi; 1 psi = 6,9 kPa. Fuente: Norma ASME B31.1, apéndices.**

Material/°C	-20,9 to 27,78	93,33	148,89	204,44	260,00	315,56	343,33	371,11	398,89	426,67	454,44	482,22	510,00	537,78	565,56	593,33
Material/°F	-20 to 100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
A 106 A	12	12	12	12	12	12	12	11,7	10,7	9	---	---	---	---	---	---
A 106 B	15	15	15	15	15	15	15	14,4	13	10,8	---	---	---	---	---	---
A 335 Gr P11	15	15	15	15	15	15	15	15	14,8	14,4	14	13,6	9,3	6,3	4,2	2,8
A 312 TP 316 L	15,7	13,3	11,9	10,8	10	9,4	9,2	9	8,8	8,6	8,4	---	---	---	---	---

Tabla 4 - Valores del coeficiente “y” según la temperatura.

Fuentes: Norma ASME B31.1, pág. 20, TABLE 104.1.2(A) // Perry: Manual del Ingeniero Químico.

Material/°C	482	510	538	566	593	621	649	677	Material
Ac. Ferrítico ¹	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
Ac. Austenítico ²	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	A 312 TP 316 L
Otros metales dúctiles	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	A106 A, A106 B, A335GrP11
Hierro colado	0,4	---	---	---	---	---	---	---	

2.6. Espesor pedido, e_{ord} [mm]

Una vez hallado el valor del espesor mínimo requerido sin márgenes ni tolerancias (e), se deben añadir los márgenes y tolerancias oportunos para encontrar el **espesor de pared pedido** para el material, que se calcula mediante la siguiente fórmula expresada en el apartado 4.3 de la normativa UNE-EN 13480-3:

- Si el valor de la tolerancia c_1 se expresa en unidades de longitud:³

$$e_{ord} \geq e + c_0 + c_1 + c_2 \rightarrow \text{Ésta es la fórmula usada en la aplicación Excel.}$$

Donde:

- e_{ord} , es el espesor de pedido mínimo que debe tener la tubería.
- e , es el espesor de pared mínimo sin márgenes ni tolerancias.
- c_0 , es el margen de corrosión o erosión, fijado en **1 mm**.

¹ Wikipedia: Acero inoxidable ferrítico son los llamados aceros inoxidables al cromo (11.5% a 23% Cr) con bajo contenido de carbono (0.20% máximo). Presentan buena resistencia a la corrosión y resistencia mecánica, se endurecen por trabajo en frío y son magnéticos.

² Wikipedia: Los aceros inoxidables austeníticos contienen más de un 7% de níquel se llaman austeníticos, ya que tienen una estructura metalográfica en estado recocido, formada básicamente por austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de Cromo varía de 16 a 28%, el de Níquel de 3,5 a 22% y el de Molibdeno 1,5 a 6%. No son magnéticos en estado recocido y, por tanto, no son atraídos por un imán.

³ Si el valor de la tolerancia c_1 se expresa como un porcentaje x del espesor pedido e_{ord} :

$$e_{ord} \geq \frac{(e + c_0 + c_2) \cdot 100}{(100 - x)}$$



- c_1 , valor absoluto de la tolerancia negativa tomado de las normas del material o facilitado por el fabricante. Por ejemplo, si la tolerancia de fabricación es de $+0,5/-1$ mm, se debería tomar $c_1=1$ mm. En la aplicación de cálculo de tuberías se considera por defecto **1 mm**.
- c_2 , margen de adelgazamiento para el posible adelgazamiento durante el proceso de fabricación. En el caso de las tuberías rectas (como es la del colector) este factor es 0.
- x , es el valor absoluto de la tolerancia negativa tomada de la norma del material, expresado como un tanto por ciento del espesor pedido. Para el material utilizado para la construcción del colector este valor será del 12,5%.
- ε , rugosidad del tubo [mm] (ver Tabla 7, apartado 2.10).

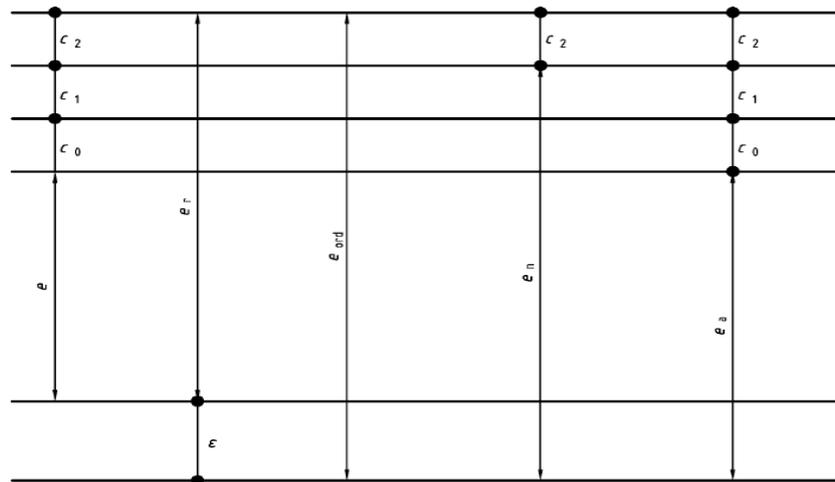


Figura 1 - Espesor con márgenes y tolerancias. Fuente: Norma UNE-EN 13480-3 (Parte 3, pág. 18).

2.7. Espesor pedido (e_{ord}) → Tubos normalizados

Para cada diámetro nominal de tubería (DN), existen diferentes tuberías normalizadas con distintos espesores, tal y como se observa en la Tabla 5 y Tabla 6 (UNE y ANSI). En estas mismas tablas se observan también los diámetros exteriores (DE, [mm]) correspondiente a cada diámetro nominal de tubería.

Habiendo determinado el diámetro nominal y el espesor pedido, y según la normativa considerada (europea: **DIN**, americana: **ANSI**), se debe encontrar la tubería normalizada con un espesor inmediatamente superior al calculado.



Importante.

Del mismo modo que con el diámetro nominal y el material, el usuario de la **aplicación Excel de cálculo de tuberías** podrá cambiar el tubo normalizado elegido automáticamente (manteniendo siempre un mismo criterio de normativa, UNE o ANSI) con el fin de obtener diferentes valores de espesor normalizado y diámetro interno.

En el caso que el espesor normalizado escogido sea inferior al pedido, aparecerá un mensaje de advertencia así como, la celda en cuestión, cambiará al color rojo. Debe tenerse en cuenta que, escoger un espesor inferior al espesor pedido, podría significar que la tubería NO aguante la presión de diseño de la tubería.

2.7.1. Selección del tubo normalizado según la *normativa DIN*

La Tabla 5 indica el espesor y el diámetro interior [mm] de las tuberías normalizadas, según la normativa UNE.

Tabla 5 - Espesores y diámetros interiores de distintos tubos normalizados DIN [mm].

DN (mm)	DE (mm)	DIN 2458		DIN 2448		DIN 2440		DIN 2441	
		Espesor	Dint	Espesor	Dint	Espesor	Dint	Espesor	Dint
10	17,2	1,8	13,6	1,8	13,6	2,35	12,5	2,9	11,4
15	21,3	2	17,3	2	17,3	2,65	16	3,25	14,8
20	26,9	2	22,9	2,3	22,3	2,65	21,6	3,25	19,4
25	33,7	2	29,7	2,6	28,5	3,25	27,2	4,05	25,6
32	42,4	2	38,4	2,6	37,2	3,25	35,9	4,05	34,3
40	48,3	2,3	43,7	2,6	43,1	3,25	41,8	4,05	40,2
50	60,3	2,3	55,7	2,9	54,5	3,65	53	4,5	51,3
63	76,1	2,6	70,9	2,9	70,3	3,65	68,8	4,5	67,1
80	88,9	2,9	83,1	3,2	82,5	4,05	80,8	4,85	79,2
100	114	3,2	107,9	3,6	107,1	4,5	105,3	5,4	103,5
125	140	3,6	132,5	4	131,7	4,85	130	5,4	128,9
150	168	4	160,3	4,5	159,3	4,85	155,4	5,4	154,3
200	219	4,5	210,1	5,9	207,3	-	-	-	-
250	273	5,1	263	6,3	260,4	-	-	-	-
300	324	5,6	312,7	7,1	309,7	-	-	-	-
350	356	5,6	344,4	8	339,6	-	-	-	-
400	406	6,3	393,8	8,8	388,8	-	-	-	-
500	508	6,3	495,4	11	486	-	-	-	-
600	610	6,3	597	12,5	584,6	-	-	-	-

Si se considera la normativa UNE, conociendo el diámetro interior y exterior del tubo normalizado elegido, se debe hacer la comprobación del apartado 2.5: $D_o/D_i \leq 1,7$. Si la suposición era correcta se sigue por el apartado 2.8, si por el contrario la suposición era errónea se debe volver al apartado 2.5 y recalcular el espesor.



2.7.2. Selección del tubo normalizado según la **normativa ANSI**

La Tabla 6.1 y la Tabla 6.2 indican el espesor y el diámetro interior [mm] de las tuberías normalizadas, según la normativa ANSI.

Tabla 6.1 – Espesores de distintos tubos según la normativa ANSI [mm].

Fuente: http://www.provindus.com.py/Utilidades_EspesorTubos.html

DN (")	DN (mm)	DE (mm)	ANSI									
			Sch 10	Sch 20	Sch 30	Sch 40	Sch 60	Sch 80	Sch 100	Sch 120	Sch 140	Sch 160
			Espesor									
3/8	10	17,1	-	-	-	2,31	-	3,2	-	-	-	-
1/2	15	21,3	-	-	-	2,77	-	3,73	-	-	-	4,78
3/4	20	26,7	-	-	-	2,87	-	3,91	-	-	-	5,56
1	25	33,4	2,77	-	-	3,38	-	4,55	-	-	-	6,35
1 1/4	32	42,2	2,77	-	-	3,56	-	4,85	-	-	-	6,35
1 1/2	40	48,3	2,77	-	-	3,68	-	5,08	-	-	-	7,14
2	50	60,3	2,77	-	-	3,91	-	5,54	-	-	-	8,74
2 1/2	65	73,0	3,05	-	-	5,16	-	7,01	-	-	-	9,53
3	80	88,9	3,05	-	-	5,49	-	7,62	-	-	-	11,12
4	100	114,3	3,05	-	-	6,02	-	8,56	-	11,13	-	13,49
5	125	141,3	3,4	-	-	6,55	-	9,52	-	12,7	-	15,88
6	150	168,3	3,4	-	-	7,11	-	10,97	-	14,28	-	18,26
8	200	219,1	4,78	6,35	7,04	8,18	10,31	12,7	15,09	18,26	20,62	23,01
10	250	273,0	4,19	6,35	7,8	9,27	12,7	15,09	18,26	21,44	25,4	28,58
12	300	323,8	4,57	6,35	8,38	10,31	14,27	17,48	21,44	25,4	28,58	33,33
14	350	355,6	6,35	7,92	9,52	11,13	15,09	19,05	23,83	27,79	31,75	35,71
16	400	406,4	6,35	7,92	9,52	12,7	16,66	21,44	26,19	30,96	36,53	40,49
20	500	508,0	6,35	9,52	12,7	15,09	20,62	26,19	32,54	38,1	44,45	50,01
24	600	609,6	6,35	9,52	14,27	17,47	24,61	30,96	38,89	46,03	52,37	59,54

Tabla 6.2 - Diámetros interiores de distintos tubos según la normativa ANSI [mm].

DN (")	DN (mm)	DE (mm)	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI						
			Sch 10	Sch 20	Sch 30	Sch 40	Sch 60	Sch 80	Sch 100	Sch 120	Sch 140	Sch 160
			Dint	Dint	Dint	Dint						
3/8	10	17,1	-	-	-	12,6	-	10,8	-	-	-	-
1/2	15	21,3	-	-	-	15,8	-	13,9	-	-	-	11,8
3/4	20	26,7	-	-	-	20,9	-	18,8	-	-	-	15,5
1	25	33,4	28,16	-	-	26,6	-	24,3	-	-	-	20,7
1 1/4	32	42,2	36,86	-	-	35	-	32,5	-	-	-	29,5
1 1/2	40	48,3	42,76	-	-	40,9	-	38,1	-	-	-	34
2	50	60,3	54,76	-	-	52,5	-	49,3	-	-	-	42,8
2 1/2	65	73,0	70	-	-	62,7	-	59	-	-	-	54
3	80	88,9	82,8	-	-	77,9	-	73,7	-	-	-	66,6
4	100	114,3	108,2	-	-	102,3	-	97,2	-	92	-	87,3
5	125	141,3	132,9	-	-	128,2	-	122,2	-	115,9	-	109,6
6	150	168,3	161,5	-	-	154,1	-	146,3	-	139,7	-	131,7
8	200	219,1	209,54	206,4	205,02	202,7	198,48	193,7	188,92	182,5	177,86	173,1
10	250	273,0	264,62	260,3	257,4	254,5	247,6	242,9	236,48	230,2	222,2	215,9
12	300	323,8	314,76	311,2	307,14	303,2	295,36	288,9	281,02	273	266,74	257,2
14	350	355,6	342,9	339,76	336,56	333,3	325,42	317,5	307,94	300	292,1	284,2
16	400	406,4	393,7	390,56	387,36	381	373,08	363,5	354,02	344,5	333,34	325,4
20	500	508,0	495,3	488,96	482,6	477,8	466,76	455,6	442,92	431,8	419,1	408
24	600	609,6	596,9	590,56	581,06	574,6	560,38	547,7	531,82	517,6	504,86	490,5



2.8. Este tubo responde a:

Una vez seleccionado el tubo normalizado, ya sea el propuesto automáticamente por el software o elegido manualmente por el usuario, la aplicación de cálculo de tuberías calcula, a modo informativo, la presión de diseño y la presión nominal a la que responde dicho tubo teniendo en cuenta el espesor normalizado que tiene el tubo (y no el espesor de cálculo). Para ello se calcula la nueva presión de diseño con la fórmula del espesor según la normativa.

$$e = \frac{P_c \cdot D_o}{2 \cdot f \cdot z + P_c} \rightarrow P_c = \frac{2 \cdot f \cdot z \cdot e}{D_o - e}, \text{ para la normativa DIN.}$$

$$tm = 0,5 \cdot \frac{P \cdot D_o}{SE + P \cdot y} \rightarrow P = \frac{2 \cdot e \cdot SE}{D_o - 2 \cdot e \cdot y}, \text{ para la normativa ANSI.}$$

Con esta presión de diseño recalculada con el espesor del tubo normalizado, se busca la presión nominal según se explica en el apartado 2.3 "Presión Nominal".

2.9. Velocidad

Conociendo el diámetro interior (D_{int}) según normativa, y con el caudal volumétrico (q_v), se calcula la velocidad (u) mediante la siguiente fórmula:

$$u = \frac{4 \cdot q_v}{\pi \cdot D_{int}^2}$$

Donde:

- u , velocidad [m/s]
- q_v , caudal volumétrico [m³/s]
- D_{int} , diámetro interno [m]

Esta velocidad no podrá ser superior a la velocidad máxima admisible para cada fluido.



2.10. Pérdida de carga lineal

El cálculo de la pérdida de carga se efectúa de distinto modo según se trate de fluidos compresibles o incompresibles. A continuación se indica en qué apartados de éste procedimiento se debe acudir para el cálculo de la pérdida carga lineal según el fluido:

- Agua (apartado 3.3, pág. 27)
- Vapor (apartado 4.3, pág. 30)
- Gas Natural (apartado 5.3, pág. 32)
- Aire Comprimido (apartado 6.3, pág. 34)
- Fuel óleo (apartado 7.3, pág. **¡Error! Marcador no definido.**)
- Aceite térmico (apartado 8.3, pág. **¡Error! Marcador no definido.**)

El coeficiente de rozamiento λ , necesario para el cálculo de la pérdida de carga, es común para todos los fluidos y se calcula del mismo modo para todos los fluidos, según Churchill, S. W. (1977), *Frictional equation spans all fluid flow regimes*, Chemical Engineering 84, pp. 91-92:

$$\lambda = \left[\left(\frac{64}{\text{Re}} \right)^{12} + \frac{1}{(A + B)^{3/2}} \right]^{1/12}$$

Donde:

$$A = \left[0,8687 \cdot \ln \frac{1}{\left(\frac{7}{\text{Re}} \right)^{0,9} + \frac{0,27 \cdot \varepsilon}{D}} \right]^{16}$$

$$B = \left(\frac{13269}{\text{Re}} \right)^{16}$$

Donde:

- $\text{Re} = \frac{u\rho D}{\mu}$ (adimensional)
- μ , viscosidad dinámica, según el fluido [kg/m^3].
- D , Diámetro interior (para cálculo de A [mm], para cálculo Re [m]).
- ε , rugosidad, según la Tabla 7. En la aplicación Excel se toma **0.5 mm**.



Tabla 7 - Valores de rugosidad de tubos.

Clase de tubo	k en mm
Acero: - Sin indicaciones expresas	0,5
- Sin costura. Nuevo	0,03 ... 0,06
- Roscado. Nuevo	0,04 ... 0,1
- Galvanizado. Nuevo	0,1 ... 0,15
- Oxidado o con incrustaciones leves	0,2 ... 0,5
- Con incrustaciones	0,5 ... 2,0
Fundición:	
- Sin indicaciones expresas	1,5
- Nuevo	0,1 ... 0,15
- Oxidado o con incrustaciones leves	0,5 ... 1,5
- Con incrustaciones	1,5 ... 4
Cobre	0,002
Plástico	0,01
Hormigón	3,0

La viscosidad dinámica, es un parámetro característico del fluido. Los valores de viscosidad dinámica se encuentran en el apartado de cálculo de la pérdida de carga lineal para cada fluido arriba indicados.

2.11. Longitud y longitud equivalente de accesorios

El usuario debe introducir la longitud de la tubería [m], así como los distintos accesorios (válvulas y codos) y su número.

Para el cálculo de la longitud equivalente, en la Tabla 8 se dan los valores de L/D para distintos tipos de válvulas usuales y diferentes accesorios habituales en los trazados de líneas. Se marcan en negrita los elementos más comunes, los cuales han sido introducidos en la aplicación Excel. En cualquier caso, la aplicación Excel permite introducir valores adicionales de longitud equivalente, calculadas por el propio usuario



Tabla 8 - Valores de L/D de válvulas y accesorios.

Fuente: CLARKE L., DAVIDSON R. (1962). Manual for Process Engineering Calculations. Mc Graw Hill.

TIPOS DE VÁLVULAS Y ACCESORIOS		
Válvulas (datos con apertura 100%, excepto si se indica):		
• De globo:		
Convencional	asiento plano, cónico o cilíndrico / disco guiado	340/450
Forma Y tija 60°	asiento plano / disco guiado	175/145
En ángulo	asiento plano / disco guiado	145/200
• De compuerta:		
De paso total		3
Fluidos normales	apertura 100% / 75% / 50% / 25%	13/35/160/900
Fluidos pulposos	apertura 100% / 75% / 50% / 25%	17/50/260/1200
• De retención:		
De clapeta	convencional / paso total	135/50
De bola		150
• De pie con filtro:		
Con disco guiado		420
Con visagra de cuero		75
• De mariposa:		
De más de 150 mm líquidos / gases		40 /24
En ductos	ángulo 5°/30°/45°/60°	9/160/800/4800
• Espitas:		
De paso directo	pase igual al diámetro de tubo	18
De tres vías	flujo: directo / por derivación	44/140
	Pase igual al 80% del tubo	
• De Bola:	Apertura 100%	3
Accesorios		
• Piezas de montaje (tubo liso):		
Curvas 45°	r/d= 1/2/4/6	6/4/3/3
Curvas 90°		9/6/5/4
• Codos:		
De 90°	estándar / radio largo / radio corto	30/20/50
De 45°	estándar / radio corto	16/26
En escuadra		57
• Curva 180°:	tipo cerrado	50
• T estándar:	flujo: directo / por derivación	20/60
• Ensanchamientos: (*)	brusco ¼ estándar ½ / estándar ¾	28/8
	brusco ¼ brusco ½ / brusco ¾	35/24/8
• Reducciones: (*)	estándar ½ / estándar ¾	7/2
	brusco ½ / brusco ¾	18/14/7
• Liras de dilatación:	tubo liso	50
	tubo corrugado	100

(*) Los valores de L/D se refieren al diámetro menor

La longitud equivalente del accesorio [m] se calcula con el diámetro interior [m]:

$$\text{Longitud equivalente del accesorio} = L/D \cdot \text{Diámetro interior}$$

Ejemplo: Longitud equivalente de 2 codos de 90° estándar y una válvula de bola, para una tubería DIN 2458 con un DN de 100 mm:

Según la Tabla 6.1, la tubería DIN 2458 para el DN de 100 mm tiene un diámetro interno de 107,9 mm.

$$\text{Long. Eq.} = 2 * (30 * 0.1079) + (150 * 0.1079) = 22,66 \text{ m}$$

La longitud equivalente total [m] de la tubería es:

Longitud equivalente Total= Longitud de la tubería+Longitud equivalente de accesorios



2.12. Pérdida de carga total

2.12.1. Pérdida de carga total para fluidos incompresibles.

Puesto que para los fluidos incompresibles (agua, aceite térmico, fuel) la pérdida de carga por unidad de longitud no se da de forma cuadrática, la pérdida de carga total [Pa, N/m²] se calcula con la longitud equivalente de la tubería del siguiente modo:

$$\Delta P = \frac{\Delta P}{L} \cdot \text{Longitud Equivalente (x10}^{-5} \text{ para convertir a bares)}$$

2.12.2. Pérdida de carga total para fluidos compresibles.

La pérdida de carga lineal para fluidos compresibles se expresa en su forma cuadrática, para obtener la pérdida de carga total se debe resolver la ecuación $\frac{p_1^2 - p_2^2}{L}$, siendo p_2 la única incógnita (en Pa). Finalmente sólo se debe convertir p_2 en bar y realizar $p_2 - p_1$:

$$p_2 = \sqrt{p_1^2 - \frac{p_1^2 - p_2^2}{L} \cdot L} \rightarrow \Delta P = p_1 - p_2$$

2.13. Potencia de bomba

Mediante la pérdida de carga total, se calcula la potencia de bomba [kW] requerida para hacer frente a esta pérdida de carga. El rendimiento de la bomba puede ser introducido por el usuario o propuesto por la aplicación.

$$\text{Potencia Bomba} = 2,78 \cdot \frac{\dot{m} \cdot \Delta P}{\rho \cdot \eta}, \text{ Fuente: Borsig.}$$

Donde:

- \dot{m} , caudal másico [kg/h]
- ΔP , pérdida de carga [bar]
- ρ , densidad [kg/m³]
- η , rendimiento [%]

Si el usuario no introduce el rendimiento de la bomba, este se calcula mediante:

$$\eta = (0,9 - 1,533 \cdot Q^{-0,4796}) \cdot 100, \text{ para } 2 < Q < 2000$$

$$\eta = 60 \%, \text{ para otros valores de } Q.$$

Donde:

- Q , caudal volumétrico [m³/h]



2.14. Aislamiento térmico de tuberías

El material para el aislamiento térmico es función de la temperatura del fluido, y se selecciona mediante la Tabla 9.

Los espesores mínimos de aislante se dan en la Tabla 9, de modo que se consigan los objetivos siguientes: prevención pérdidas de calor y protección personal.

Tabla 9.1 - Selección del material y espesor de aislamiento (en milímetros).

Temperatura °C		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	
Diámetro tubería		Espesores de aislamiento (mm)										
ANSI (")	DIN (mm)											
1	25	30	30	40	40	50	60	60	70	80	90	
1 1/2	40	30	30	40	50	60	60	70	70	80	90	
2	50	30	40	40	50	60	70	80	80	90	100	
2 1/2	65	40	40	50	60	70	70	80	90	100	110	
3	80	40	50	50	60	70	70	80	90	110	120	
4	100	40	50	60	70	80	80	90	100	120	130	
6	150	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
8	200	50	60	70	80	90	110	120	130	140	160	
10	250	60	70	80	90	90	110	120	130	150	170	
12	300	60	70	80	90	110	120	130	140	160	180	
14	350	60	70	80	100	110	120	140	150	170	180	
16	400	60	70	90	100	120	120	140	150	170	190	
20	500	70	80	90	110	120	130	150	160	180	200	
24	600	70	80	100	110	130	140	150	180	190	210	
Material		Fibra mineral 70				Fibra mineral 100			Fibra mineral 125			

Tabla 9.2 - Selección del material y espesor de aislamiento (en pulgadas).

Temperatura °C		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	
Diámetro tubería		Espesores de aislamiento (")										
ANSI (")	DIN (mm)											
1	25	1 1/4	1 1/4	1 1/2	1 1/2	2	2 1/2	2 1/2	3	3	3 1/2	
1 1/2	40	1 1/4	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	2 1/2	3	3	3	3 1/2	
2	50	1 1/4	1 1/2	1 1/2	2	2 1/2	3	3	3	3 1/2	4	
2 1/2	65	1 1/2	1 1/2	2	2 1/2	3	3	3	3 1/2	4	4 1/2	
3	80	1 1/2	2	2	2 1/2	3	3	3	3 1/2	4 1/2	5	
4	100	1 1/2	2	2 1/2	3	3	3	3 1/2	4	5	5	
6	150	2	2 1/2	3	3	3 1/2	4	4 1/2	5	5	5 1/2	
8	200	2	2 1/2	3	3	3 1/2	4 1/2	5	5	5 1/2	6 1/2	
10	250	2 1/2	3	3	3 1/2	3 1/2	4 1/2	5	5	6	7	
12	300	2 1/2	3	3	3 1/2	4 1/2	5	5	5 1/2	6 1/2	7	
14	350	2 1/2	3	3	4	4 1/2	5	5 1/2	6	7	7	
16	400	2 1/2	3	3 1/2	4	5	5	5 1/2	6	7	7 1/2	
20	500	3	3	3 1/2	4 1/2	5	5	6	6 1/2	7	8	
24	600	3	3	4	4 1/2	5	5 1/2	6	7	7 1/2	8 1/2	
Material		Fibra mineral 3"				Fibra mineral 4"			Fibra mineral 5"			



3. CÁLCULOS ESPECÍFICOS DE TUBERÍAS DE AGUA

3.1. Densidad del agua

La densidad [kg/m^3] del agua para distintas temperaturas se obtiene mediante la Tabla 10, que relaciona la densidad del agua con la temperatura y la presión. Se puede interpolar en la tabla.

Tabla 10 - Densidad del agua en estado saturado a distintas Temperaturas.

Temperatura (°C)	Presión (bar)	Densidad (kg/m ³)	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Densidad (kg/m ³)
0	0,006108	1000	160	6,181	907
5	0,008718	1000	170	7,92	898
10	0,01227	1000	180	10,027	887
15	0,017039	999	190	12,551	876
20	0,02337	998	200	15,549	864
25	0,03166	997	210	19,077	853
30	0,04241	996	220	23,198	840
35	0,05622	994	230	27,976	827
40	0,07375	992	240	33,478	814
45	0,09582	990	250	39,776	799
50	0,12335	988	260	46,943	784
60	0,1992	983	270	55,058	768
70	0,3116	978	280	64,202	751
80	0,4736	972	290	74,461	732
90	0,7011	965	300	85,927	712
100	1,0133	958	310	98,7	691
110	1,4327	951	320	112,89	667
120	1,9854	943	330	128,63	640
130	2,7013	935	340	146,05	610
140	3,614	926	350	165,35	574
150	4,76	917			

3.2. Diámetro Nominal propuesto para Agua

La Tabla 11 propone, en función del caudal (q , [t/h]), un diámetro nominal propuesto ($dN_{\text{prop.}}$, [mm] o ["]), para no sobrepasar las velocidades habituales en la práctica de ingeniería. Según sea la tubería de aspiración o impulsión.



Tabla 11 - Diámetro de tuberías de agua y pérdidas de carga.

dN _{prop.} "	dN _{prop.} mm	Condiciones generales (impulsión)		Agua caliente en tuberías de aspiración y líneas de condensados	
		qh m ³ /h	u _{max} m/s	qh m ³ /h	u _{max} m/s
¾ 1 1 ¼ 1 ½	10	0,23	0,8	0,11	0,4
	15	0,5	0,8	0,25	0,4
	20	1	0,8	0,5	0,4
	25	1,5	0,8	0,8	0,4
	32	2,5	0,8	1,25	0,4
2 2 ½ 3 4	40	3,8	0,8	1,9	0,4
	50	6	0,8	3	0,4
	65	16	1,2	8	0,6
	80	30	1,5	15	0,75
5 6 8 10	100	50	1,7	25	0,85
	125	80	1,9	40	0,95
	150	125	2,1	62,5	1,05
	200	300	2,5	150	1,25
10 12 14 16	250	500	2,7	250	1,35
	300	800	2,9	400	1,45
	350	1000	3	500	1,5
	400	1.400	3,1	700	1,55
20 24	500	2.500	3,4	1.250	1,7
	600	4.000	3,6	2.000	1,8

La fórmula que permite relacionar el caudal con la velocidad máxima es:

$$u_{\max.} = \log(q+1);$$

Donde:

- q, caudal volumétrico [m³/h]
- u, velocidad [m/s]
- ΔP/L, Pérdida de carga por unidad de longitud [mm c. a./m].

3.3. Cálculo Pérdida de Carga lineal para fluidos incompresibles, Agua

Para el cálculo de la pérdida de carga en agua se emplea la fórmula de los fluidos incompresibles:

$$\frac{p_1 - p_2}{L} = \lambda \cdot \frac{u^2}{2d} \cdot \rho \quad (\text{Pa, en unidades SI}) = \frac{1}{100.000} \quad (\text{bar})$$

Donde:

- u, velocidad [m/s]
- ρ, densidad [kg/m³]
- d, diámetro interior [m]
- L, longitud [m]
- λ, según Churchill, S. W. (ver apartado 2.10)



Para el cálculo del coeficiente de rozamiento λ , es necesario conocer la viscosidad del fluido (según se explica en el apartado 2.10, pág. 21), para el agua, los valores de viscosidad dinámica para las distintas temperaturas se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12 - Viscosidad dinámica del agua en estado saturado.

Temperatura (°C)	Presión (bar)	Viscosidad Dinámica (x10 ⁻⁶ kg/(s·m))
0	0,006112	1792
10	0,01227	1305,5
20	0,02337	1002,6
30	0,04241	798,4
40	0,07375	653,9
50	0,12335	547,1
60	0,1992	466
70	0,3116	403,3
80	0,4736	354,2
90	0,7011	314,8
100	1,01325	281,9
110	1,4327	255,5
120	1,9854	232,9
150	4,76	182,7
200	15,55	134,5
250	39,78	106,5
300	85,92	85,64
350	165,4	65,16
360	186,7	59,72
370	210,5	52,16



4. CÁLCULOS ESPECÍFICOS DE TUBERÍAS DE VAPOR

4.1. Densidad del Vapor de agua

En primer lugar, es necesario conocer si el vapor de agua se encuentra en estado **saturado** o **recalentado**. Para ello se dispone de la Tabla 13 que indica la temperatura de saturación del vapor para una presión determinada, así como su densidad en estado saturado. Si se sobrepasa la temperatura de saturación, se debe consultar la densidad del vapor recalentado en la Tabla 14, según sea su presión y temperatura, con la posibilidad de interpolar entre valores (realizando doble interpolación).

Tabla 13 - Densidad del vapor saturado.

atm	ts °C	kg/m ³
1	99,09	0,58
5	151,11	2,621
10	179,04	5,051
15	197,36	7,446
20	211,38	9,843
25	222,9	12,26
30	232,76	14,71
35	241,42	17,19
40	249,18	19,71
45	256,23	22,27
50	262,7	24,88
55	268,68	27,53
60	274,29	30,26
65	279,53	33,01
70	284,48	35,86
75	289,17	38,73
80	293,62	41,68
85	297,86	44,69
90	301,92	47,78
95	305,8	50,93
100	309,53	54,17
110	316,58	60,9
120	323,15	68,17
130	329,3	76,05
140	335,09	84,53
150	340,56	93,81
160	345,74	103,95
170	350,66	115,23
180	355,35	127,98
190	359,82	142,86
200	364,08	160,77

Tabla 14 - Densidad del vapor recalentado [kg/m³].

atm	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C
1	0,506	0,451	0,408	0,372	0,342	0,316	0,294	0,275
5	-	2,31	2,07	1,88	1,72	1,59	1,48	1,38
10	-	4,75	4,21	3,8	3,47	3,2	2,97	2,77
15	-	7,38	6,44	5,78	5,26	4,83	4,48	4,17
20	-	-	8,78	7,81	7,08	6,49	6	5,59
25	-	-	11,23	9,9	8,94	8,17	7,54	7,01
30	-	-	13,83	12,06	10,83	9,87	9,1	8,45
35	-	-	16,62	14,29	12,76	11,6	10,67	9,89
40	-	-	19,64	16,61	14,74	13,35	12,26	11,35
45	-	-	-	19,02	16,76	15,14	13,86	12,83
50	-	-	-	21,54	18,83	16,94	15,49	14,31
55	-	-	-	24,17	20,95	18,78	17,13	15,8
60	-	-	-	26,97	23,14	20,65	18,8	17,31
65	-	-	-	29,91	25,37	22,55	20,47	18,83
70	-	-	-	33,07	27,69	24,49	22,18	20,37
75	-	-	-	36,44	30,07	26,45	23,9	21,92
80	-	-	-	40,1	32,54	28,47	25,65	23,48
85	-	-	-	44,07	35,09	30,51	27,4	25,05
90	-	-	-	-	37,76	32,61	29,2	26,65
95	-	-	-	-	40,52	34,73	31,01	28,24
100	-	-	-	-	43,4	36,91	32,84	29,87
110	-	-	-	-	49,6	41,43	36,59	33,16
120	-	-	-	-	56,43	46,17	40,45	36,5
130	-	-	-	-	64,1	51,15	44,42	39,9
140	-	-	-	-	72,78	56,43	48,52	43,38
150	-	-	-	-	82,92	62,03	52,77	46,95
160	-	-	-	-	95,97	68,03	57,14	50,58
170	-	-	-	-	-	74,46	61,69	54,29
180	-	-	-	-	-	81,37	66,4	58,07
190	-	-	-	-	-	88,89	71,33	61,96
200	-	-	-	-	-	97,09	76,45	65,96



4.2. Diámetro nominal propuesto para Vapor de agua

Las velocidades máximas de trabajo habitualmente aceptadas para el vapor de agua son las siguientes:

- Vapor de agua saturado: Velocidad máxima = 40 m/s
- Vapor de agua recalentado: Velocidad máxima = 50 m/s

El cálculo del diámetro [mm] para no sobrepasar estas velocidades es:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi \cdot u}} \cdot 1000$$

A partir del cálculo del diámetro mínimo, se debe seleccionar como diámetro nominal propuesto el inmediatamente superior de los diámetros nominales normalizados (Tabla 5 y Tabla 6).

4.3. Cálculo de la pérdida de carga lineal para fluidos compresibles, Vapor de agua

Para el cálculo de la pérdida de carga del vapor, se emplea la fórmula cuadrática, aplicable a fluidos compresibles:

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{L} = \lambda \cdot \frac{u^2 \cdot \rho \cdot p_1}{d} \quad (\text{Pa}^2/\text{m})$$

- u, velocidad [m/s]
- ρ , densidad [kg/m³]
- d, diámetro interior [m]
- L, longitud [m]
- λ , según Churchill (ver apartado 2.10)
- p_1 , presión [Pa]

Para el cálculo de λ , es necesario conocer la viscosidad del fluido, para el vapor, los valores de viscosidad dinámica para distintas temperaturas y presiones se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15 - Viscosidad dinámica del vapor de agua (x10⁻⁶).

°C/atm	1	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
150	13,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
250	18,1	18,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300	20,1	20,3	20,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
350	22,2	22,4	22,7	23,5	25,3	-	-	-	-	-	-	-
400	24,2	24,4	24,7	25,4	26,2	28,1	31,9	45,1	56,6	62,7	65,9	68,2
450	26,3	26,5	26,7	27,3	28	29	30,6	33,2	36,8	41,4	45,8	50,3
500	28,4	28,4	28,7	29,2	29,8	30,7	31,8	33,2	34,8	36,8	39,1	41,5
600	32,5	32,5	32,8	33,2	33,6	34,3	35,1	36,1	37,2	38,2	39,3	40,5
700	36,5	36,6	36,8	37,1	37,6	38,2	38,8	39,5	40,4	41,3	42,4	43,5
800	40,6	40,7	40,8	41	41,4	41,9	42,5	43,1	43,9	44,6	45,5	46,5



5. CÁLCULOS ESPECÍFICOS PARA TUBERÍAS DE GAS NATURAL

Las líneas de gas natural se calculan aplicando:

- para media y baja presión (MP y BP), UNE 60621-96
- para alta presión (AP), UNE 60620-88

La clasificación por presiones en la reglamentación española es (con p en bar):

- Alta presión tipo B, AP B, $p > 16$
- Alta presión tipo A, AP A, $4 < p \leq 16$
- Media presión tipo B, MP B $0,4 < p \leq 4$
- Media presión tipo A, MP A $0,05 < p \leq 0,4$
- Baja presión BP $p \leq 0,05$

5.1. Densidad del Gas Natural

Para el cálculo de la densidad del gas natural, es preciso conocer la densidad del gas en condiciones normales (0°K, 1 atm), llamada densidad normal. Puesto que la densidad del gas depende de su composición, se tomará una densidad normal de 0,757 kg/m³, que corresponde a un gas natural típico con una composición de:

Hidrocarburo	Composición Química	Rango (en %)
Metano	CH ₄	91-95
Etano	C ₂ H ₆	2-6
Dióxido de Carbono	CO ₂	0-2
Propano	C ₃ H ₈	0-2
Nitrógeno	N	0-1

Así, la fórmula para el cálculo de la densidad [kg/m³] del gas natural en condiciones reales es:

$$\rho = \rho_n \cdot \frac{K}{K_n} \cdot \frac{T_n}{T} \cdot \frac{p}{p_n}$$

Donde:

- ρ_n , densidad normal del gas natural 0,757 kg/m³.
- K_n , factor de compresibilidad del gas en condiciones normales, 1.
- K, factor de compresibilidad del gas.
- T_n , temperatura normal, 273.15 °K.
- T, temperatura [°K]
- p, presión [atm]
- p_n , presión normal 1 atm



El valor del factor de compresibilidad K se estima de la siguiente manera:

- Para Gas Natural a alta presión (AP):

$$K = \frac{1-p}{450}$$

- Para Gas Natural a media y baja presión (MP y BP)

$$K = 1$$

Mediante la densidad se puede calcular el caudal volumétrico real según la fórmula descrita en el cálculo general (apartado 2.1, pág. 5).

5.2. Diámetro Nominal propuesto para Gas Natural

Las normas mencionadas dan como velocidades máximas admisibles en la canalización de Gas Natural los siguientes valores:

- BP y MP: 20 m/s.
- AP: 30 m/s.

Además de estas limitaciones, se toma como decisión de diseño, aplicable a los diámetros bajos, que la velocidad no supere el valor de $0,2 \cdot d_{\text{int}}$. Siendo d_{int} el diámetro interior en mm.

La selección del diámetro por velocidad arriba indicada puede hacerse directamente en función del caudal volumétrico (q_v) con las formulas:

- $d = 4,4 \cdot \sqrt{q_v}$ para MP y BP y $q_v \geq 20 \text{ m}^3/\text{h}$.
- $d = 3,56 \cdot \sqrt{q_v}$ para AP y $q_v \geq 70 \text{ m}^3/\text{h}$.
- $d = 7,23 \cdot \sqrt[3]{q_v}$ para caudales inferiores a los valores anteriores.

5.3. Cálculo de la pérdida de carga lineal para fluidos compresibles, Gas Natural

Para el cálculo de la pérdida de carga lineal del Gas Natural, la fórmula recomendada por las normas UNE citadas, válida para cualquier presión, es:

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{L} = 27,3 \cdot q^{1,82} \cdot d^{-4,82}$$

Dónde:

- p_1 y p_2 , presión inicial y final absoluta [bar].
- q , caudal en condiciones normales [m^3/h].
- d , diámetro interior [mm].



6. CÁLCULO ESPECÍFICO PARA TUBERÍAS DE AIRE COMPRIMIDO

Se considera que el aire está comprimido cuándo su presión es superior a 4 bares.

Para presiones inferiores, se debe calcular como conducto, ver apartado 9, pág.

¡Error! Marcador no definido..

6.1. Densidad del Aire

La Tabla 16 relaciona la densidad del aire con la temperatura. Los valores de la tabla pueden ser interpolados para encontrar la densidad de temperaturas medias.

Tabla 16 - Densidad del aire en función de la temperatura.

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m ³)
-40	1,5140
-20	1,3950
0	1,2930
5	1,2690
10	1,2470
15	1,2250
20	1,2040
25	1,1840
30	1,1650
40	1,1270
50	1,1090
60	1,0600
70	1,0290
80	0,9996
90	0,9721
100	0,9461
200	0,7461
300	0,6159
400	0,5243
500	0,4565
1000	0,2772

6.2. Diámetro nominal propuesto para tuberías de Aire Comprimido

Generalmente, para el aire comprimido, la velocidad máxima admisible es de 10 m/s, sin embargo, en AESA se aplica una restricción para los diámetros bajos. En estos casos el diámetro no puede superar el valor de $0,2 \cdot d_{\text{int}}$. Siendo d_{int} el diámetro interior en mm. El diámetro de cálculo en mm es:

- $d = 6 \cdot \sqrt{q_v}$ para caudales $q_v > 64 \text{ m}^3/\text{h}$.
- $d = 12 \cdot \sqrt[3]{q_v}$ para caudales menores.

Luego este diámetro se puede ajustar, siempre sin sobrepasar la velocidad máxima.



6.3. Cálculo de la pérdida de carga lineal para fluidos compresibles, Aire Comprimido

Para el cálculo de la pérdida de carga lineal del Aire Comprimido, se utiliza la fórmula para los fluidos compresibles:

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{L} = \lambda \cdot \frac{u^2 \cdot \rho \cdot p_1}{d} \quad (\text{Pa}^2/\text{m})$$

Donde:

- u, velocidad [m/s]
- ρ , densidad [kg/m³]
- d, diámetro interior [m]
- L, longitud [m]
- λ , coeficiente de rozamiento según Churchill (apartado 2.10, pág. 21)
- p_1 , presión [Pa]

La viscosidad dinámica es un dato necesario para el cálculo del coeficiente de rozamiento. La Tabla 17 muestra los valores de la viscosidad dinámica del aire a distintas temperaturas.

Tabla 17 - Viscosidad dinámica del aire.

Temperatura (°C)	Viscosidad Dinámica (kg/s·m)
-40	1,52E-05
-20	1,63E-05
0	1,74E-05
5	1,76E-05
10	1,79E-05
15	1,81E-05
20	1,83E-05
25	1,86E-05
30	1,89E-05
40	1,93E-05
50	1,98E-05
60	2,03E-05
70	2,08E-05
80	2,12E-05
90	2,17E-05
100	2,21E-05
200	2,62E-05
300	2,99E-05
400	3,33E-05
500	3,64E-05
1000	4,93E-05

