

1 SOBREPRESIÓN POR GOLPE DE ARIETE

Golpe de ariete es el término utilizado para denominar el choque producido en una conducción por una súbita disminución en la velocidad del fluido.

El cierre en una válvula en una tubería provoca el corte en la circulación del fluido (reducción de la velocidad de circulación a cero) generándose una onda de presión que aumentará la tensión de trabajo esperada en las paredes de la tubería, pudiendo llegar en casos extremos a su rotura.

Siempre que el tiempo de cierre de la válvula sea inferior al tiempo de prolongación de ondas de choque (desde la válvula hasta la embocadura de la tubería y vuelta de nuevo hasta la válvula) se manifestará este fenómeno.

1.1. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN

Para tuberías deformables como es nuestro caso (tubo de acero) la expresión matemática que proponemos es la siguiente:

$$c = \sqrt{\frac{E_B}{\rho[1 + (E_B / E)(d / e)]}}$$

Donde:

- c = velocidad de la onda de presión (m/s)
- E_B = módulo de elasticidad volumétrico del fluido (Pa)
- E = módulo elástico (módulo de Young) del material de la tubería (Pa)
- ρ = densidad del fluido (kg/m³)
- d = diámetro exterior de la tubería (mm)
- e = espesor de la pared de la tubería (mm)

Densidad y Módulo Elástico Volumétrico del Agua a la Presión Atmosférica

Temp. (°C)	Densidad (Kg/m ³)	Modulo de elasticidad Volumétrico (MPa)
0	1000.33	1981.62
5	1000.23	2050.29
10	1000.13	2109.15
15	999.44	2158.20
20	998.58	2197.44
25	997.38	2236.68
30	996.01	2266.11
35	994.44	2275.92
40	992.58	2285.73
50	988.46	2295.54

Módulo de Young del Acero = 206,01 GPa

1.2 TIEMPO DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN

El tiempo de propagación desde la válvula hasta la embocadura de la tubería:

$$T_p = \frac{2L}{c}$$

Donde:

T_p = tiempo de propagación (s)
 L = longitud de la tubería (m)

1.3 DETERMINACIÓN DE LA POSIBILIDAD DE GOLPE DE ARIETE EN LA CONDUCCIÓN

Siendo T_c = tiempo de cierre de la válvula(s), cuando prevea un:

$T_c \leq T_p$ equivaldrá a un cierre instantáneo, ya que el tiempo de recorrido de ida y vuelta de la onda de presión es superior al de cierre. Se producirá Golpe de Ariete.

$T_c > T_p$ no se producirá Golpe de Ariete dado que la onda de presión regresará a la válvula sin que esta se encuentre totalmente cerrada.

1.4 CALCULO DEL AUMENTO DE PRESIÓN PRODUCIDO POR EL GOLPE DE ARIETE

$$\Delta P = \rho c \Delta V$$

Donde:

ΔP = variación de la presión (Pa)

ΔV = variación de la velocidad de circulación del fluido como consecuencia del cierre de la válvula (m/s)

Para evitar los Golpes de Ariete en aquellas instalaciones donde sea previsible su aparición, se las deberá equipar con alguno de los dispositivos de protección siguientes:

- Válvulas motorizadas con tiempo de maniobra claramente superiores al tiempo de propagación de la onda.
- Estudio del perfil orográfico del trazado de la conducción y ubicación estratégica de válvulas de retención adecuadas.
- Aparatos antiariete que se abren automáticamente cuando la presión sobrepasa el valor de tasado, cerrándose después lentamente.
- Columnas de equilibrio, especialmente indicadas para conducciones de baja presión, y para las que presentan un punto alto cerca de las bombas.
- Depósito con presión de gas instalado en derivación que permite combatir eficazmente tanto las depresiones como las sobrepresiones.
- Volantes de gran inercia, que acoplados a las bombas centrífugas impiden su parada brusca.

Mediante la adecuada selección y conjunción de estos medios de protección, es posible dotar a la instalación de una seguridad total, evitando incidentes de explotación y sobredimensionados innecesarios. Ventajas que en muchos casos compensarán el coste de los equipos de seguridad instalados.

2 RESISTENCIA

El máximo esfuerzo que debe soportar un material en carga ha de ser una fracción de su límite elástico.

$$\sigma_{adm} \leq \frac{\sigma_E}{\eta}$$

Donde:

- σ_E = límite elástico (**para el acero $\sigma_{E \min} = 185 \text{ Mpa}$**) (Pa)
 σ_{adm} = coeficiente de trabajo o tensión máxima admisible (mm)
 η = coeficiente de seguridad, valor experimental >1 que depende del material, de las condiciones en que trabaje y de los fines a que se dedica

2.1 CALCULO DE LA TENSIÓN DE TRABAJO

La tensión de trabajo que soporta la pared de una conducción como consecuencia de la presión que ejerce el fluido sobre ella, la podemos obtener mediante la ecuación:

$$\sigma_t = \frac{Hm \cdot d_i}{2e}$$

Donde:

- Hm = altura manométrica de la bomba/presión que ha de soportar la tubería (Pa)
 d_i = diámetro interior (mm)
 e = espesor de la pared (mm)
 σ_t = tensión de trabajo a la tracción (Pa)

2.2 CALCULO DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD

Si tomamos esta tensión de trabajo (σ_t) como tensión máxima admisible (σ_{adm}) podríamos determinar, mediante la transformación de la primera ecuación, el coeficiente de seguridad con que estaría trabajando el material de conducción.

$$\eta = \frac{\sigma_E}{\sigma_t}$$

Este coeficiente de seguridad, no debería ser en ningún caso inferior a 1,5.

2.3 PRESIONES MÁXIMAS

Se ha tomado para el cálculo de las presiones máximas admisibles, un valor mínimo del límite elástico de 195 MPa aunque en la práctica, el acero empleado en la fabricación del tubo supera ampliamente este valor (el acero empleado por los fabricantes de AFTA supera normalmente los 235 MPa). Esto, junto con la utilización de un coeficiente de seguridad de 1,75 nos permitirá hacer trabajar al tubo de acero dentro de unas cotas amplias de seguridad. No se aportan datos sobre los accesorios de fundición maleable dado que por sus características superan la capacidad de los tubos de acero.

CÁLCULOS

Desig. rosca	Diámetro Nominal	Presión máxima admisible (kg/cm ²) UNE EN 10255 Serie M	Presión máxima admisible (kg/cm ²) UNE EN 10255 Serie H
3/8	DN 10	414,68	577,90
1/2	DN 15	366,86	487,89
3/4	DN 20	272,19	354,61
1	DN 25	266,28	353,58
1 1/4	DN 32	201,93	264,15
1 1/2	DN 40	173,50	225,48
2	DN 50	154,02	199,27
2 1/2	DN 65	118,70	152,35
3	DN 80	112,32	143,96
4	DN 100	97,08	118,52
5	DN 125	87,58	95,17
6	DN 150	73,23	79,50

A lo largo del manual se proponen ecuaciones de cálculo que relacionan magnitudes para las que se utilizan diferentes unidades. La siguiente tabla recoge las equivalencias entre ellas.

Equivalencias entre unidades de uso habitual con las correspondientes en el Sistema Internacional (S.I.)

Fuerza y Peso:

$$1 \text{ Newton (S.I.)} = 1 \text{ N}$$

$$1 \text{ kg fuerza} = 1 \text{ Kp} = 9,81 \text{ N}$$

Masa :

$$1 \text{ kg masa (S.I.)} = 1 \text{ Kg}$$

$$1 \text{ Unidad Técnica de Masa} = 1 \text{ UTM} = 9,81 \text{ Kg}$$

Presión :

$$1 \text{ Pascal (S.I.)} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Kilopascal (S.I.)} = 1 \text{ KPa} = 10^3 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Megapascal (S.I.)} = 1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gigapascal (S.I.)} = 1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Kg/cm}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ at. métrica o técnica} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ at. estándar o terrestre} = 1,033 \text{ at. téc.} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$760 \text{ mm. c.Hg} = 1 \text{ at. estándar} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ metro de columna de agua (m.c.a)} = 9,81 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

Potencia :

$$1 \text{ Watio (S.I.)} = 1 \text{ W}$$

$$1 \text{ Kilowatio (S.I.)} = 1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ Caballo Vapor Alemán} = 1 \text{ C.V.} = 735,75 \text{ W}$$

$$1 \text{ Caballo de Vapor inglés} = 1 \text{ H.P.} = 745,7 \text{ W}$$

$$1 \text{ Kpm/s} = 9,81 \text{ W}$$

3 CAUDALES Y CAPACIDADES DEL TUBO

Los datos aportados por las tablas han sido calculados a partir de los diámetros interiores teóricos (sujetos a tolerancias), por lo que han de considerarse igualmente teóricos. Estas tablas de caudales incorporan un dato muy interesante para la determinación en las instalaciones de calefacción del volumen de agua necesario para su llenado, como es, la capacidad del tubo por unidad de longitud en l/m.

UNE EN 10255. Serie Media M

VELOCIDAD (en m/s)	DESIGNACIÓN DE ROSCA											
	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
	DIÁMETRO INTERIOR TEÓRICO (en mm)											
	12,6	16,1	21,7	27,3	36	41,9	53,1	68,9	80,9	105,3	129,7	155,1
	SECCIÓN DE PASO DE FLUIDO (en cm ²)											
	1,247	2,036	3,698	5,854	10,179	13,789	22,145	37,285	51,403	87,086	132,12	188,94
	CAPACIDAD DEL TUBO POR UNIDAD DE LONGITUD (en l/m)											
	0,125	0,204	0,370	0,585	1,018	1,379	2,215	3,728	5,140	8,709	13,212	18,894
	CAUDAL (en m ³ /h)											
	0,3	0,13	0,22	0,40	0,63	1,10	1,49	2,39	4,03	5,55	9,41	14,27
0,4	0,18	0,29	0,53	0,84	1,47	1,99	3,19	5,37	7,40	12,54	19,03	27,21
0,5	0,22	0,37	0,67	1,05	1,83	2,48	3,99	6,71	9,25	15,68	23,78	34,01
1	0,45	0,73	1,33	2,11	3,66	4,96	7,97	13,42	18,51	31,35	47,56	68,02
1,25	0,56	0,92	1,66	2,63	4,58	6,20	9,97	16,78	23,13	39,19	59,45	85,02
1,5	0,67	1,10	2,00	3,16	5,50	7,45	11,96	20,13	27,76	47,03	71,35	102,03
1,75	0,79	1,28	2,33	3,69	6,41	8,69	13,95	23,49	32,38	54,86	83,24	119,03
2	0,90	1,47	2,66	4,21	7,33	9,93	15,94	26,84	37,01	62,70	95,13	136,03
2,5	1,12	1,83	3,33	5,27	9,16	12,41	19,93	33,56	46,26	78,38	118,91	170,04
3	1,35	2,20	3,99	6,32	10,99	14,89	23,92	40,27	55,52	94,05	142,69	204,05
3,5	1,57	2,57	4,66	7,38	12,83	17,37	27,90	46,98	64,77	109,73	166,47	238,06
4	1,80	2,93	5,33	8,43	14,66	19,86	31,89	53,69	74,02	125,40	190,25	272,07
5	2,24	3,66	6,66	10,54	18,32	24,82	39,86	67,11	92,53	156,75	237,82	340,08

UNE EN 10255. Serie pesada H

VELOCIDAD (en m/s)	DESIGNACIÓN DE ROSCA											
	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
	DIÁMETRO INTERIOR TEÓRICO (en mm)											
	11,4	14,9	20,5	25,7	34,4	40,3	51,3	67,1	78,91	103,5	128,9	154,3
	SECCIÓN DE PASO DE FLUIDO (en cm ²)											
	1,021	1,744	3,301	5,187	9,294	12,756	20,669	35,362	48,893	84,134	130,496	186,991
	CAPACIDAD DEL TUBO POR UNIDAD DE LONGITUD (en l/m)											
	0,102	0,174	0,330	0,519	0,929	1,276	2,067	3,536	4,889	8,413	13,050	18,699
	CAUDAL (en m ³ /h)											
	0,3	0,11	0,19	0,36	0,56	1,00	1,38	2,23	3,82	5,28	9,09	14,09
0,4	0,15	0,25	0,48	0,75	1,34	1,84	2,98	5,09	7,04	12,12	18,79	26,93
0,5	0,18	0,31	0,59	0,93	1,67	2,30	3,72	6,37	8,80	15,14	23,49	33,66
1	0,37	0,63	1,19	1,87	3,35	4,59	7,44	12,73	17,60	30,29	46,98	67,32
1,25	0,46	0,78	1,49	2,33	4,18	5,74	9,30	15,91	22,00	37,86	58,72	84,15
1,5	0,55	0,94	1,78	2,80	5,02	6,89	11,16	19,10	26,40	45,43	70,47	100,98
1,75	0,64	1,10	2,08	3,27	5,86	8,04	13,02	22,28	30,80	53,00	82,21	117,80
2	0,73	1,26	2,38	3,73	6,69	9,18	14,88	25,46	35,20	60,58	93,96	134,63
2,5	0,92	1,57	2,97	4,67	8,36	11,48	18,60	31,83	44,00	75,72	117,45	168,29
3	1,10	1,88	3,56	5,60	10,04	13,78	22,32	38,19	52,80	90,86	140,94	201,95
3,5	1,29	2,20	4,16	6,54	11,71	16,07	26,04	44,56	61,60	106,01	164,42	235,61
4	1,47	2,51	4,75	7,47	13,38	18,37	29,76	50,92	70,41	121,15	187,91	269,27
5	1,84	3,14	5,94	9,34	16,73	22,96	37,20	63,65	88,01	151,44	234,89	336,58

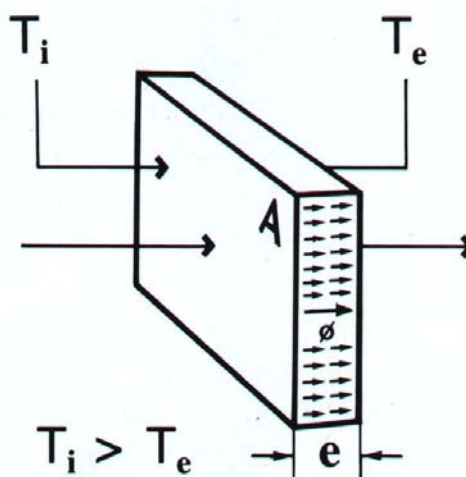
4 CALCULO DE LA TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN

La propiedad natural que poseen los metales de conducir el calor ocasiona en las instalaciones, problemas en unos casos y en otros sin embargo, puede resultar de gran utilidad práctica.

Las conducciones de los circuitos de calefacción y agua caliente sanitaria provocarán debido a este fenómeno, pérdidas energéticas importantes de no proceder a su calorifugado. Sin embargo, esta facultad de transmitir el calor del interior al exterior del tubo y viceversa a través de su pared, puede ser aprovechada por ejemplo, en intercambiadores, calderas, calefacción por radiación para invernaderos, etc.

La necesidad de conocer tanto las características del calorifugado de las conducciones de acero, como la capacidad calefactoria de las mismas, obliga a presentar una tabla que recoja los Coeficientes de Transmisión de Calor de los tubos de acero soldados longitudinalmente por metro lineal de tubo.

La conductividad térmica (λ) es un parámetro que define la mayor o menor facilidad que tiene un cuerpo para transmitir calor a través de su masa. Se expresa en Kcal/h. °C. m y viene a ser la cantidad de calor en Kcal que atraviesa una pared de un metro de espesor de un cuerpo determinado en una hora y por grado centígrado de diferencia de temperatura. La conductividad térmica del acero al carbono es de 50,7 Kcal/h. °C. m y de la fundición 53,3 Kal/h. °C. m .



Transmisión de calor por conducción.

CÁLCULOS

La potencia térmica que fluye a través de una pared de espesor **e** y de área **A** viene dada por la expresión

$$\varnothing = \lambda \cdot \frac{A}{e} \cdot (T_i - T_e)$$

Donde:

\varnothing = calor transmitido a través de la pared	(Kcal/h)
λ = conductividad térmica del material de la pared	(Kcal/h. °C.m)
A = área de la pared	(m ²)
e = espesor de la pared	(m)
T _i = temperatura pared interior	(°C)
T _e = temperatura pared exterior	(°C)

La tabla que se presenta a continuación, recoge los **valores calculados del calor** (en Kcal) que es transmitido en una hora, a través de la pared de un tubo de acero de un metro de longitud, de diámetro y espesor determinados y por grado centígrado de temperatura diferencial entre sus paredes interior y exterior.

Designación de rosca	Diámetro Nominal	UNE EN 10255 Serie M	UNE EN 10255 Serie H
3/8	DN 10	1.032	785
1/2	DN 15	1.146	901
3/4	DN 20	1.489	1.180
1	DN 25	1.518	1.183
1 1/4	DN 32	1.951	1.529
1 1/2	DN 40	2.245	1.764
2	DN 50	2.509	1.975
2 1/2	DN 65	3.208	2.534
3	DN 80	3.381	2.673
4	DN 100	3.886	3.212
5	DN 125	4.291	3.961
6	DN 150	5.100	4.711