

NTP 346: Válvulas de seguridad (II): capacidad de alivio y dimensionado



Soupapes de sécurité (II) renseignements techniques
Safety Valves (II): technical features

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

Redactor:

Antonio Cejalvo Lapeña
Ingeniero Industrial

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Introducción

En la anterior Nota Técnica de Prevención NTP 342.1994, se consideró importante tratar de las características generales de las válvulas de seguridad, su funcionamiento y sus características de construcción, así como el disponer de criterios para una adecuada instalación, montaje y mantenimiento, pero no menos importante es el establecer, para un equipo o sistema determinado, cuales son sus necesidades de alivio de presión y si ésta se proporcionará con una o con varias válvulas de seguridad, tanto para condiciones anormales de operación, como para exposición a emergencias, como es el caso de fuegos externos.

Una vez establecida la capacidad de alivio necesaria, se ha abordado la cuestión del dimensionado de las válvulas de seguridad, tanto para gases o vapores como para líquidos. Se dan las expresiones necesarias para el cálculo de la sección neta de descarga, de tal forma que las válvulas sean capaces de aliviar el caudal requerido en las condiciones de presión de tarado, sobrepresión y contrapresión del equipo durante su operación.

Número de válvulas y capacidad de alivio

Como principio general se considerará que el conjunto de válvulas instaladas en un equipo bastará para aliviar el fluido necesario de tal forma que la presión en el interior no exceda del 10 por 100 de la presión de precinto. Esta capacidad de alivio podrá ser conseguida con una o con varias válvulas de seguridad de inferior tamaño. Una razón para la instalación de varias válvulas de seguridad en un equipo, además de conseguir la capacidad de alivio deseada, es obtener un mayor nivel de seguridad al redundar este importante elemento.

No obstante, existen diversas disposiciones normativas que indican el mínimo número de válvulas de seguridad, el tipo y la capacidad de alivio necesaria para determinados equipos, para los cuales son de obligado cumplimiento.

Así, el Reglamento de Aparatos a Presión, en su Instrucción Técnica Complementaria ITC-MIE-AP1 referente a Calderas, Economizadores, Precalentadores y Recalentadores, establece que toda caldera de vapor saturado llevará como mínimo dos válvulas de seguridad independientes, salvo las calderas de clase C, es decir aquellas en las que el producto de la presión de servicio (P en bar) por el volumen de agua (V en m³) sea igual o inferior a 10, que podrán llevar una sola válvula. Las válvulas serán de tipo resorte y no se permitirá el uso de válvulas de peso directo ni de palanca con contrapeso. La capacidad de alivio del conjunto de válvulas de seguridad instaladas en la caldera, vendrá dado por la relación existente entre la potencia de la caldera y la entalpía de vaporización a la presión de servicio, es decir:

$$Q=P/\delta h_v$$

donde:

Q es el caudal de vapor aliviado por la válvula, en kg/seg.

P es la potencia de la caldera, en vatios.

δh_v es la entalpía de vaporización del agua de la caldera a la presión de servicio, J/kg.

Para los sobrecalentadores de vapor, establece que tanto los que están incorporados en la caldera, como los que puedan permanecer bajo presión con independencia de ésta, llevarán como mínimo una válvula de seguridad. Para la evacuación del vapor sobrecalentado, las válvulas serán de apertura instantánea y la presión máxima de precinto de las válvulas será inferior a la presión menor de precinto de las válvulas de la caldera, en un valor igual o mayor que la pérdida de carga correspondiente al máximo caudal de vapor en el sobrecalentador. La capacidad de alivio de las válvulas en los sobrecalentadores que pueden permanecer a presión con independencia de la caldera, será de 30 kg de vapor por m² de superficie de calefacción del calentador. En los sobrecalentadores incorporados en las calderas, sin interposición de válvula de interrupción, las válvulas de seguridad pueden considerarse como formando parte de las válvulas de seguridad de la caldera, y la capacidad de alivio debe ser garantizada en un 75 por 100 como mínimo por las válvulas situadas en la caldera y en un 25 por 100, también como mínimo, por las válvulas situadas en el sobrecalentador, (Aunque en casos particulares en que no se pueda aplicar la regla anterior, y previa autorización de la Autoridad competente en materia de Seguridad Industrial, es posible variar esta relación).

Los recalentadores de vapor dispondrán de una o más válvulas de seguridad, de las que una como mínimo, estará situada en la salida del recalentador. La capacidad de alivio de las válvulas será como mínimo igual al máximo caudal de vapor para el que ha sido diseñado el recalentador, correspondiendo al 15 por 100 de esta capacidad, al menos, a la válvula de seguridad situada a la salida del recalentador.

Las calderas de agua sobrecalentada correspondientes a las categorías A o B dispondrán de dos o más válvulas de seguridad independientes, una de las cuales, al menos, estará precintada a la presión de diseño o por debajo de ésta y la presión de precinto de las demás válvulas no excederá en más de un 3 por 100 de la presión de precinto de la primera válvula. Las calderas de agua sobrecalentada de categoría C podrán llevar una sola válvula de seguridad.

La capacidad de alivio del conjunto de las válvulas de seguridad instaladas en la caldera viene dada por:

$$Q=P/\delta h_v$$

donde:

Q es el caudal de alivio de la válvula, en kg/seg.

P es la potencia de la caldera, en vatios.

δh_v es la entalpía de vaporización del agua de la caldera a la presión de servicio, J/kg.

Los economizadores, precalentadores de agua, llevarán al menos, dos válvulas de seguridad cuando exista una válvula de seccionamiento entre el economizador y la caldera.

La Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP10 del Reglamento de Aparatos a Presión, referente a Depósitos Criogénicos, establece que el recipiente interior deberá estar protegido por dos válvulas de seguridad, colocadas en fase gas y en comunicación directa con el interior del recipiente, pudiendo sustituirse una de estas válvulas por un disco de ruptura, excepto en depósitos que contengan gases inflamables.

Este reglamento también establece para otros equipos, como son los Calentadores o Acumuladores de Agua Caliente, a través de la MIE-AP11, que deberán protegerse con una válvula de seguridad de tamaño tal que pueda dar salida al fluido necesario en las condiciones más desfavorables.

Se ha visto el número de válvulas y la capacidad de alivio necesaria o reglamentada para determinados equipos, como son calderas, recalentadores, economizadores, depósitos criogénicos y acumuladores de agua caliente. Para cualquier otro equipo industrial, como reactores, intercambiadores, o simplemente un tramo de tuberías en el que el fluido pueda quedar bloqueado, se debe determinar el caudal de alivio de la válvula de seguridad, de tal forma que la presión interior no exceda del 10 por 100 de la presión de precinto en las condiciones más desfavorables posibles, como pueden ser la no desconexión del sistema de aportación de calor al equipo o la producción de una reacción incontrolada (polimerización, descomposición, etc.) fuertemente exotérmica que pueda incrementar rápidamente la presión interior, etc.

Consideremos el caso de un fluido que se ha quedado bloqueado en un tramo de tubería u otro equipo y sufre un calentamiento debido a un foco de calor externo, puede ser radiación solar o un fuego externo, y estudiemos la necesidad de dotar al equipo con una válvula de seguridad.

El volumen de un líquido bloqueado en una tubería o cualquier otro equipo es función de la temperatura (T) y de la presión (P):

$$dV = \left. \frac{\delta V}{\delta T} \right|_P dT + \left. \frac{\delta V}{\delta P} \right|_T dP$$

Dividiendo por V, y teniendo en cuenta que:

$$\beta = \frac{1}{V} \left. \frac{\delta V}{\delta T} \right|_P \quad \beta - \text{Coeficiente de dilatación térmica}$$

$$K = \frac{1}{V} \left. \frac{\delta V}{\delta P} \right|_T \quad K - \text{Coeficiente de compresibilidad isotérmica}$$

La ecuación anterior se transforma en:

$$dV / V = (\beta \cdot dT) - (K \cdot dp)$$

Integrando esta ecuación, teniendo en cuenta que β y K no varían apenas para rangos pequeños de variación de P y T :

$$\ln(V_2/V_1) = \beta \cdot (T_2 - T_1) - K \cdot (P_2 - P_1)$$

Donde

P_1 , T_1 , y V_1 son la presión, temperatura y volumen del fluido en las condiciones iniciales de servicio.

P_2 y V_2 son la presión y el volumen del fluido ante la temperatura T_2 .

Si no existiera válvula de seguridad, la evolución del fluido se realizaría a volumen constante, y por tanto $V_1 = V_2$, despejando P_2 , obtendríamos la presión que se alcanzaría en el tramo de tubería o equipo en función de las condiciones iniciales de servicio y de la temperatura alcanzada en el líquido.

$$P_2 = (\beta/K) \cdot (T_2 - T_1) + P_1$$

Si esta presión es superior a la de diseño, sería necesario instalar una válvula de seguridad con una presión de tarado P , no superior a la de diseño del equipo. La temperatura a la que se alcanzará la presión de tarado y por tanto aliviará la válvula es:

$$T_2 = (K/\beta) \cdot (P_t - P_1) + T_1$$

Cuando se almacenan fluidos en depósitos o tanques, la capacidad de alivio de presión debe contemplar tanto las condiciones anormales de operación como las situaciones de emergencia por exposición a un fuego externo.

Así en el Reglamento sobre Almacenamiento de Productos Químicos, la Instrucción Técnica Complementaria MIE-APQ-001 referente a Almacenamiento de Líquidos Inflamables y Combustibles establece los venteos normales y de emergencia que debe llevar cada tanque en función de las características de éstos y del producto que almacenan. Cuando el venteo de emergencia está encomendado a una válvula o dispositivo, la capacidad total de venteo normal y de emergencia serán suficientes para prevenir cualquier sobrepresión que pueda originar la ruptura del cuerpo o fondo del recipiente si es vertical, o del cuerpo y cabezas si es horizontal. Si los líquidos almacenados son inestables, se tendrán en cuenta los efectos del calor o gases producidos por polimerización, descomposición, condensación o reactividad propia.

El primer paso es calcular la superficie húmeda del recipiente que puede estar expuesta a un fuego exterior, como:

- El 55 % de la superficie total de una esfera.
- El 75 % del área total de un depósito horizontal.
- Los primeros 10 metros por encima del suelo de un tanque vertical, descontándose la parte de superficie en contacto con el suelo.

Posteriormente, hay que determinar el calor recibido en caso de fuego externo, mediante la expresión:

$$Q = 139,7 F A^{0,82} 10^3$$

donde:

Q es el calor recibido por el recipiente en kJ/h.

A es la superficie húmeda en m^2 .

F es un factor sin dimensiones, que se tomará igual a la unidad salvo en los casos siguientes, en que se tomarán los valores que se indican:

- $F = 0,5$ Drenaje alejado o cubeto separado y superficie húmeda superior a $20 m^2$.
- $F = 0,3$ Sistemas de pulverizadores de agua fijos y automáticos para la prevención de incendios y cubeto separado.
- $F = 0,3$ Aislamiento no afectado por fuego ni chorro de agua y con una conductividad térmica máxima a $900 ^\circ C$ de $83,75 kJ/(h \cdot m^2 \cdot K)$ = $20 Kcal/(h \cdot m^2 \cdot K)$.

F = 0,15 Aislamiento igual al anterior y sistema de pulverización de agua fijos y automáticos.

El cálculo del venteo total, el de emergencia más el normal para líquidos estables, se efectúa en función del tipo de tanque o depósito, de la siguiente forma:

- a. Para tanques atmosféricos (diseñados para soportar presiones internas manométricas de hasta 15 kPa) la capacidad total de venteo no será inferior al definido en la tabla 1 y tabla 2, multiplicado por el factor F definido anteriormente.

Tabla 1. Capacidad total de venteo de tanques con presión hasta 7 kPa

Superficie húmeda (m ²)	m ³ /hora de aire	Superficie húmeda (m ²)	m ³ /hora de aire
2	636	50	10.330
4	1.272	60	11.453
6	1.909	70	12.497
8	2.544	80	13.478
10	3.180	90	14.408
12	3.816	100	15.293
14	4.452	120	16.000
16	5.088	140	16.846
18	5.724	160	17.624
20	6.360	180	18.340
25	6.978	200	19.000
30	7.736	230	19.924
35	8.441	260 y superior	20.767
40	9.104		

Los caudales de aire son a presión atmosférica y 15 °C.
Los valores intermedios pueden interpolarse

Tabla 2. Capacidad total de venteo de tanques con presión mayor de 7kPa

Superficie húmeda (m ²)	m ³ /hora de aire	Superficie húmeda (m ²)	m ³ /hora de aire
280	22.340	1.000	63.450
300	23.640	1.500	88.480
330	25.250	2.000	112.000
360	27.460	2.500	134.500
400	29.930	3.000	156.193
450	32.970	4.000	197.774
500	35.940		
600	41.740	Para valores superiores	
700	47.360	A	220 A ^{0,82}
800	52.840		
900	58.200		

Los caudales de aire son a presión atmosférica y 15 °C.
Los valores intermedios pueden interpolarse.
Para valores inferiores a 280 m² ver Tabla 1

- b. Para tanques atmosféricos y para tanques a baja presión (diseñados para soportar presiones internas manométricas desde 15 kPa hasta 98 kPa), la capacidad total de venteo puede determinarse por la siguiente fórmula:

$$m^3 \text{ de aire por hora} = (4,414 \cdot Q) / [L(M)^{1/2}]$$

donde:

Q es el calor recibido por el recipiente en kJ/h, definido anteriormente.

L es el calor latente de vaporización en kJ/kg.

M es el peso molecular en kg.

- c. En el caso de depósitos a presión (diseñados para soportar presiones internas manométricas superiores a 98 kPa), la capacidad total de venteo será:

$$\text{kg/h de vapor de líquido} = Q / L$$

donde:

Q es el calor recibido por el recipiente en kJ/h, definido anteriormente.

L es el calor latente de vaporización en kJ/kg, en las condiciones de venteo.

La MIE-APQ-002 referente al Almacenamiento de Oxido de Etileno, establece que los depósitos deberán llevar, al menos dos válvulas de seguridad, (admitiéndose sólo las de resorte) con una capacidad de descarga tal, que quedando una válvula en reserva, sea capaz de evacuar la descarga máxima previsible.

La MIE-APQ-003 referente al Almacenamiento de Cloro, establece que todo depósito irá provisto de una válvula de seguridad de resorte, de calidad adecuada para su uso con el cloro seco y en ningún caso su descarga se efectuará directamente a la atmósfera.

La MIE-APQ-004 referente a Almacenamiento de Amoniac Anhidro, establece que cada tanque o depósito dispondrá, como mínimo, de dos válvulas de seguridad, excepto en depósitos de capacidad inferior a 100 m³, que podrán tener una.

El Reglamento sobre Instalaciones de Almacenamiento de Gases Licuados del Petróleo en Depósitos Fijos, establece que los depósitos, tanto aéreos como enterrados, cuyo volumen geométrico unitario supere los 20m³, dispondrán al menos de dos válvulas de seguridad, de forma que la capacidad de descarga del conjunto, quedando una válvula en reserva, sea capaz de evacuar el caudal de descarga, que es el necesario para que la presión en el interior de los depósitos no llegue a sobrepasar en un 20 por 100 la presión de apertura de las mismas y se puede calcular utilizando la expresión:

$$G = 10,6552 S^{0,82}$$

donde G es el caudal de aire en m³ por minuto a 15 °C y presión atmosférica y S representa la superficie del depósito expresada en m². El caudal de GLP evacuado será:

$$Q = G / Y$$

donde Y es un factor de corrección:

$$Y = 1,2 \cdot (1 - P/785)^{1/2}$$

siendo P la presión de tarado de la válvula de seguridad en bars.

En los depósitos enterrados el caudal de descarga podrá reducirse en un 30 por 100 del valor de cálculo, pero en tal caso los depósitos no podrán ser descubiertos si no se han vaciado previamente.

Dimensionado de válvulas de seguridad

Una vez que se ha determinado la presión de tarado y la capacidad o caudal de alivio de la válvula de seguridad necesaria para el equipo o sistema donde va a ser instalada, veamos como se dimensionan las válvulas para que sean capaces de aliviar ese caudal determinado a la presión de tarado, para una cierta sobrepresión prefijada y una contrapresión dada por la instalación (conceptos definidos en la NTP 342.1994). En este apartado se muestran algunas expresiones para el cálculo de esta magnitud, tanto para gases y vapores como para líquidos. La fuente de cálculo es en este caso el Código Español de Recipientes y Aparatos a Presión.

Dimensionado para gases y vapores

La sección de la válvula de seguridad para el caso de vapores y gases vendrá dada por la siguiente expresión:

$$A = [Q / (0,76 \cdot C \cdot K \cdot K_b \cdot P_1)] \cdot [(Z \cdot T) / M_0]^{1/2} \quad (a)$$

Donde:

A : Superficie neta de descarga de la válvula de seguridad, en cm².

Q : Caudal de alivio en kg/h. Se considerará el máximo en las condiciones más desfavorables.

C : Coeficiente definido en función de la relación $n = C_p/C_v$.

$$C = 520 \sqrt{n \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n+1}{n-1}}}$$

K: Coeficiente de descarga a determinar por el fabricante de la válvula

$K = \text{Caudal real} / \text{Caudal teórico}$

kB : Coeficiente de descarga a facilitar por el fabricante de la válvula y para aplicación con hidrocarburos. Si no se conoce se puede utilizar la figura 1 para hidrocarburos y para el resto tomar el valor 1.



$$(P_2 / P_1) \cdot 100 = (\text{Presión de zona descarga} / \text{Presión zona protegida}) \cdot 100$$

Fig. 1: Coeficiente kB

P_1 : Presión en bar absolutos; $P_1 = P_{\text{tarado}} + \text{Sobrepresión} + \text{Contrapresión} + 1,01325$.

M_0 : Peso molecular en gramos / mol.

T : Temperatura del fluido absoluta en grados Kelvin.

Z: Factor de compresibilidad del gas en las condiciones de presión y temperatura del alivio. Si se desconoce, utilizar la figura 2 para hidrocarburos y tomar $Z=1$ para el resto.

$$T_R: \text{Temperatura reducida} = \frac{\text{Temperatura de fluido (K)}}{\text{Temperat. crítica del fluido (K)}}$$

$$P_R: \text{presión reducida} = \frac{\text{presión de fluido (bar)}}{\text{presión crítica del fluido (bar)}}$$

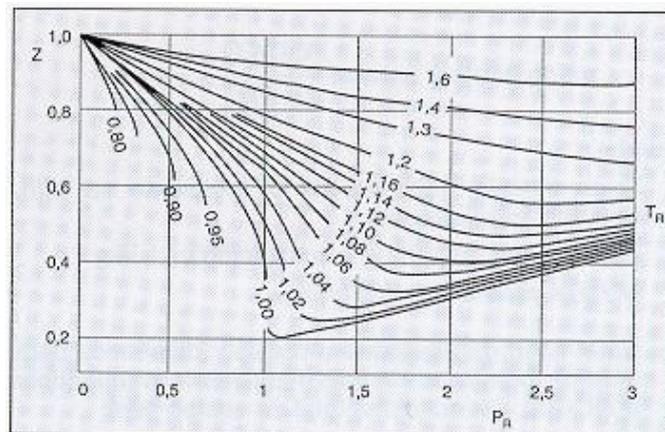


Fig. 2: Factor de compresibilidad

La fórmula (a) es aplicable cuando la presión en la zona de descarga sea mayor que la presión de flujo crítico, entendiéndose la presión de flujo crítico como aquella que produce el máximo caudal volumétrico en una emisión y puede estimarse por la relación:

$$PCR = P \left[\frac{2}{n+1} \right]^{\frac{n}{n-1}}$$

PCR: Presión de flujo crítico en unidades absolutas, bar.

P: Presión de tarado en unidades absolutas, bar.

n: C_p/C_v Relación entre el calor específico a presión constante y a volumen constante

Dimensionado para líquidos

En este caso se dan dos expresiones en función del nivel de contrapresión más la acumulación existente:

Con contrapresión + acumulación

$$A = (1 / 3,642) \cdot \{ [Q \cdot (d_{r0})^{1/2}] / [K_v \cdot K_p \cdot (P - P_c)^{1/2}] \}$$

Con contrapresión + acumulación < al 25%

$$A = (1 / 3,642) \cdot \{ [Q \cdot (d_{r0})^{1/2}] / [K_v \cdot K_p \cdot S \cdot (P - P_c)^{1/2}] \}$$

donde

A: Sección neta de descarga de la válvula, en cm².

K_v: Coeficiente de corrección de viscosidad. Ver figura 3

Re: Número de Reynolds:

$$Re = 0,35367 \frac{Q}{D_i \mu P}$$

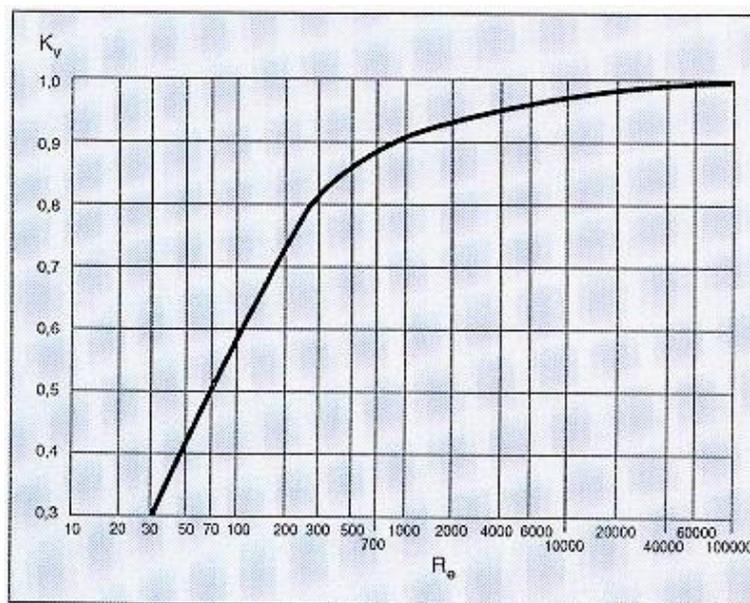


Fig. 3: Coeficiente de corrección de viscosidad

Q: Caudal de líquido en m³/h.

D_i: Diámetro de la sección de paso, en cm.

μ: Viscosidad del fluido a la temperatura de trabajo, en centipoises.

S: Coeficiente de acumulación inferior al 25%. Ver figura 4. La acumulación viene dada por el incremento de presión que se produce por encima de la máxima presión de trabajo admisible cuando la válvula esta completamente abierta, se expresa en tanto por ciento de la máxima presión de trabajo admisible o en bars.

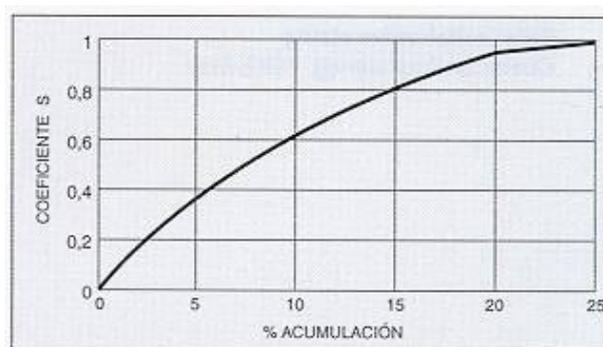


Fig. 4: Coeficiente de acumulación

K_p : Coeficiente de contrapresión. Ver figura 5. La contrapresión es la presión existente en la salida de la válvula de seguridad, esta puede ser constante o variable. La primera se define como aquella que no varía considerablemente bajo cualquier perturbación, bien esté la válvula abierta o cerrada y la contrapresión variable puede ser consecuencia del aumento de presión que se produce a la salida de la válvula a medida que esta se abre o bien existir ya antes de que comience su apertura.

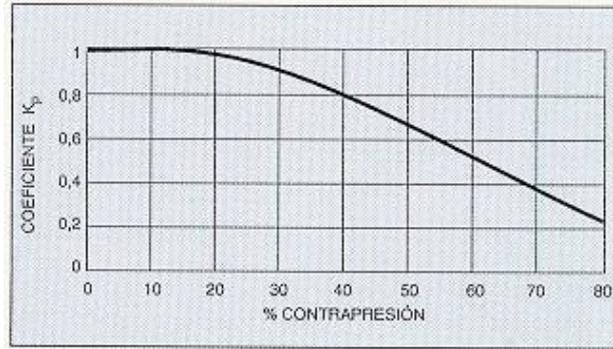


Fig. 5: Coeficiente de contrapresión

d_{r0} : Densidad relativa del fluido respecto al agua a la temperatura de trabajo.

P: Presión de disparo de la válvula de seguridad, en bars efectivos.

P_c : Contrapresión del recipiente, en bars efectivos.

Bibliografía

(1) MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA
Reglamento de Aparatos a Presión
R.D. 1244 de 4-4-1979. BOE 29-5-1979

(2) MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA
Reglamento sobre Almacenamiento de Productos Químicos
R. D. 668/1980, de 8-2-1980 (BOE 14-4-1980) y R. D. 3485/1983, de 14-12-1984

(3) MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO
Reglamento sobre Instalaciones de Almacenamiento de Gases Licuados del Petróleo en Depósitos Fijos
Orden de 29-1-1986. BOE 22-2-1986

(4) MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO CON LA COLABORACIÓN DE BEQUINOR
Código Español de Recipientes y Aparatos a Presión

(5) WING Y. WONG
Safer relief-valve sizing
Chemical Engineering, 1989, May