



- **CÁTEDRA:** “SISTEMAS DE CONTROL” (PLAN 2004)
- **DOCENTE:** Prof. Ing. Mec. Marcos A. Golato

VÁLVULAS DE CONTROL

Parte 2

Universidad Nacional de Tucumán

Fundada el 25 de mayo de 1914



Selección válvulas de control - Procedimiento

Paso 1: Búsqueda de valores y datos de operación.

a) Características del fluido:

ν = viscosidad cinemática (m^2/s , St, cSt).

P_v = presión de vapor.

P_c = presión crítica.

G_f = relación de pesos específicos (γ / γ_{ag}).

b) Caídas de presión:

P_1 = presión del fluido a la entrada de la válvula.

P_2 = presión del fluido a la salida de la válvula.

$\Delta P = (P_1 - P_2)$ caída de presión en la válvula.

T_1 = temperatura del fluido a la entrada de la válvula.

c) Rangos de control:

$Q_{m\acute{a}x.}$ = caudal máximo del fluido en el proceso.

$Q_{nor.}$ = caudal normal del fluido en el proceso.

$Q_{m\acute{i}n.}$ = caudal mínimo del fluido en el proceso.

d) Compatibilidad con materiales:

Debe existir compatibilidad entre el fluido y los materiales de las juntas y del cuerpo de las válvulas.

Energía de un fluido

$$H_i = \frac{v^2}{2g} + z_i + \frac{P_i}{\rho g}$$

Si $Q = \text{cte}$ (sin ramificaciones) y $D = \text{cte} \Rightarrow v = \text{cte}$ en la tubería

Altura
cinética

Altura
gravitatoria

Altura
de presión

- La energía que gana (bombas) o pierde (fricción, accesorios, turbinas) el fluido es en forma de presión
- Cuando un fluido se eleva, pierde presión

Una bomba incrementa la energía del fluido:

$$\underbrace{\frac{v_s^2}{2g} + \frac{P_s}{\rho g}}_{\text{E. de salida}} = \underbrace{\frac{v_e^2}{2g} + \frac{P_e}{\rho g}}_{\text{E. inicial}} + H_{\text{bomba}}$$

La bomba transmite energía *de presión* al fluido para elevarlo o para compensar las pérdidas (fricción, accesorios) en su transporte

Caídas de presión en cañerías, válvulas y accesorios

Las caídas de presión en cañerías se deben al rozamiento del fluido con las paredes del tubo, debido a su rugosidad y se denominan “pérdidas lineales”. Las caídas de presión debidas a válvulas y conectores son denominadas “pérdidas locales” y resultan “menores” en relación a las producidas por rozamiento en cañerías.

Pérdidas lineales

Fórmula de Darcy-Weisbach
(disipación viscosa en fluido y paredes)

$$h_l = f \frac{L}{D} \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Pérdidas singulares

“locales”, “menores”
(accesorios)

$$h_s = K_s \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

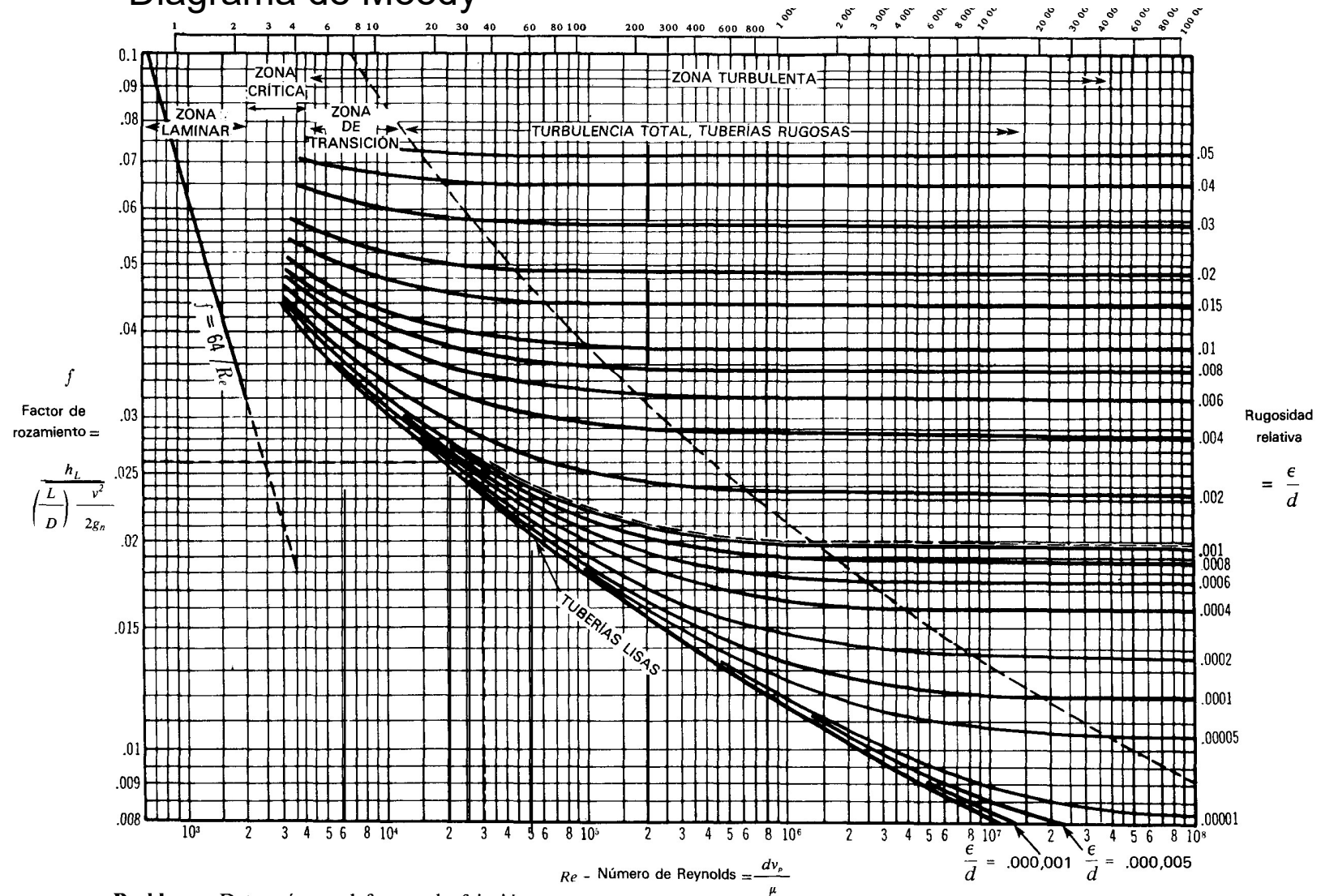
f coeficiente de fricción

L, D longitud/diámetro tubería

K_s coeficiente de pérdidas singulares

Determinación del coeficiente de fricción "f"

Diagrama de Moody



Flujo laminar ($Re < 2300$):
(Fórm. Poiseuille) $f = \frac{64}{Re}$

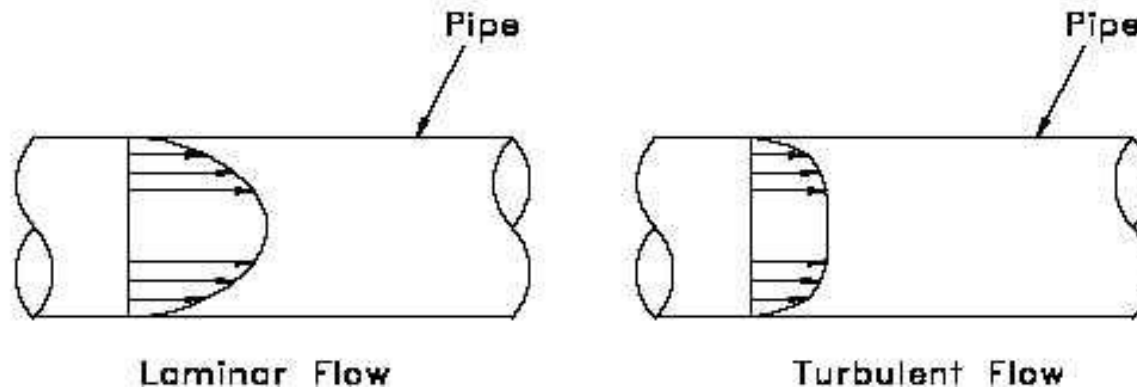
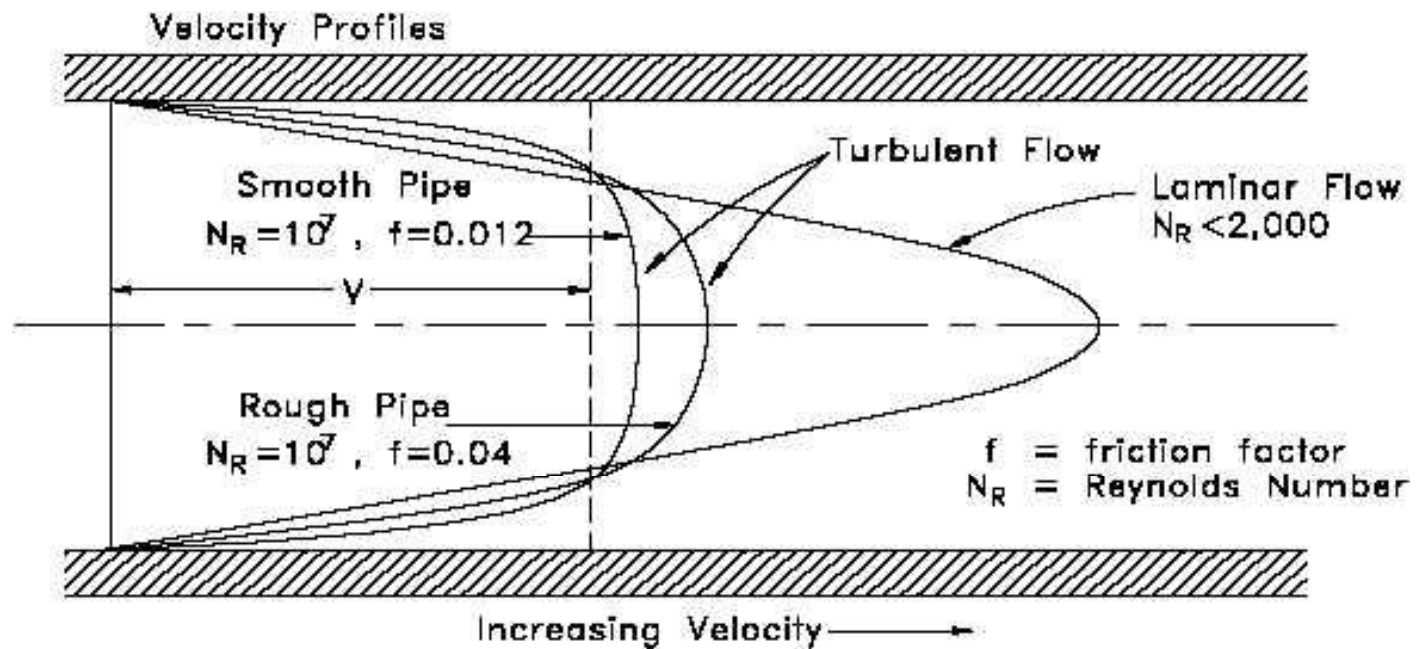
Flujo turbulento ($Re > 4000$):
Fórmula iterativa de White-Colebrook 1938 $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.5}{Re \sqrt{f}} \right)$

Empezar con $f=0.01$ ϵ rugosidad de la tubería
 ϵ/D rugosidad relativa

Coefficientes “f” encontrados por diferentes autores:

Smooth pipe flow	
Colebrook	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.8 \log \left(\frac{Re}{6.9} \right)$
<u>Nikuradse & Prandi</u>	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(\frac{Re \sqrt{f}}{2.51} \right)$
<u>Blasius</u>	$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}}$
Fully rough pipe flow	
Karman	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(\frac{3.7}{e/D} \right)$
Neither smooth or rough flow	
Colebrook	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$
<u>Haaland</u>	$-1.8 \log \left[\left(\frac{e/D}{3.7} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right]$

Perfiles de velocidad laminar y turbulento



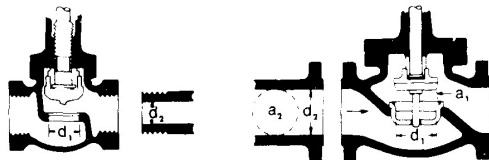
Coeficientes de pérdidas singulares “Ks”

Válvula esférica, totalmente abierta	$K = 10$
Válvula de ángulo, totalmente abierta	$K = 5$
Válvula de retención de clapeta	$K = 2,5$
Válvula de pie con colador	$K = 0,8$
Válvula de compuerta, totalmente abierta	$K = 0,19$
Codo de retroceso	$K = 2,2$
Empalme en T normal	$K = 1,8$
Codo de 90° normal	$K = 0,9$
Codo de 90° de radio medio	$K = 0,75$
Codo de 90° de radio grande	$K = 0,60$
Codo de 45°	$K = 0,42$

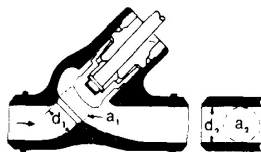
FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS, DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA

Diámetro mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200,250	300400	450-600
Nominal pulg	½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8: 10	12-16	18-24
Factor de fricción (f_T)	.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

VÁLVULAS DE GLOBO Y ANGULARES

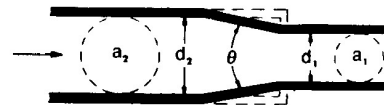


Si: $\beta = 1 \quad K_r = 340 f_T$



Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$

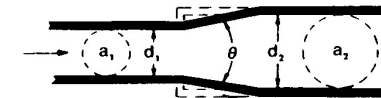
ESTRECHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si: $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 1}$

$45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 2}$

ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



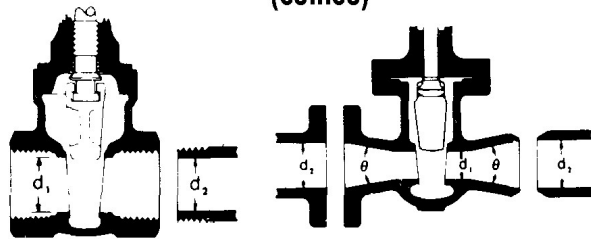
Si: $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 3}$

$45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 4}$

Fuente: Flujo de fluidos. En válvulas, accesorios y tuberías. Crane, 1992.

VÁLVULAS DE COMPUERTA

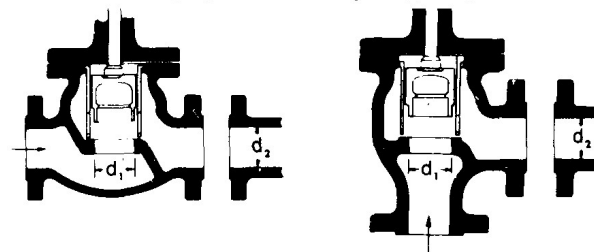
De cuña, de doble obturador o tipo macho (cónico)



Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_1 = 8 f_T$
 $\beta < 1$ y $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$

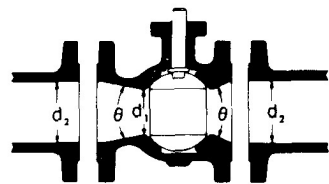
VÁLVULAS DE RETENCIÓN Y CIERRE

(Tipos recto y angular)



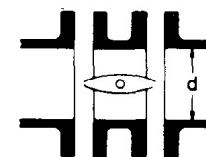
Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 400 f_T$ Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 200 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

VÁLVULA ESFÉRICA



Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_1 = 3 f_T$
 $\beta < 1$ y $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$

VÁLVULAS DE MARIPOSA



Diámetro 50 mm (2") a 200 mm (8") $K = 45 f_T$
 Diámetro 250 mm (10") a 350 mm (14") . . . $K = 35 f_T$
 Diámetro 400 mm (16") a 600 mm (24") . . . $K = 25 f_T$

Fuente: Flujo de fluidos. En válvulas, accesorios y tuberías. Crane, 1992.

FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR “K” PARA VÁLVULAS Y ACCESORIOS CON SECCIONES DE PASO REDUCIDO

Fórmula 1

$$K_2 = \frac{0.8 \left(\text{sen} \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 2

$$K_2 = \frac{0.5 (1 - \beta^2) \sqrt{\text{sen} \frac{\theta}{2}}}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 3

$$K_2 = \frac{2.6 \left(\text{sen} \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} K_1$$

Fórmula 4

$$K_2 = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 5

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 1} + \text{Fórmula 3}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \text{sen} \frac{\theta}{2} [0.8 (1 - \beta^2) + 2.6 (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

Fórmula 6

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + 0.5 \sqrt{\text{sen} \frac{\theta}{2}} (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Fórmula 7

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \beta (\text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}), \text{ cuando } \theta = 180^\circ$$

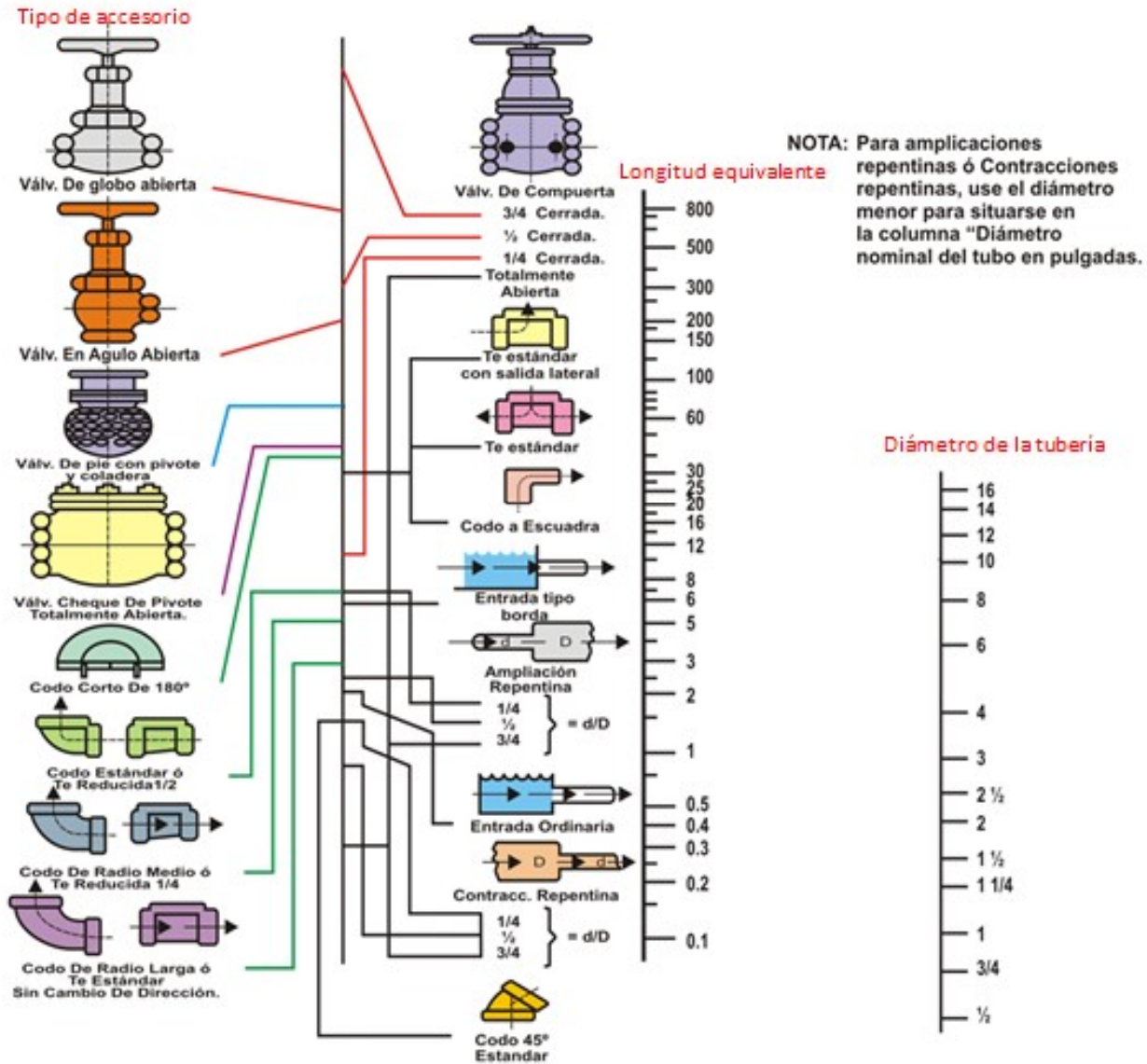
$$K_2 = \frac{K_1 + \beta [0.5 (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

$$\beta = \frac{d_1}{d_2}$$

$$\beta^2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = \frac{a_1}{a_2}$$

El subíndice 1 define dimensiones y coeficientes para el diámetro menor.
El subíndice 2 se refiere al diámetro mayor.

Monograma de pérdidas en válvulas y accesorios – Longitud equivalente



Paso 2: Determinar el coeficiente de corrección de unidades (N1 o N6).



Equation Constants⁽¹⁾

		N	w	q	p ⁽²⁾	γ	T	d, D
N ₁		0.0865	---	m ³ /h	kPa	---	---	---
		0.865	---	m ³ /h	bar	---	---	---
		1.00	---	gpm	psia	---	---	---
N ₂		0.00214	---	---	---	---	---	mm
		890	---	---	---	---	---	inch
N ₅		0.00241	---	---	---	---	---	mm
		1000	---	---	---	---	---	inch
N ₆		2.73	kg/h	---	kPa	kg/m ³	---	---
		27.3	kg/h	---	bar	kg/m ³	---	---
		63.3	lb/h	---	psia	lb/ft ³	---	---
N ₇ ⁽³⁾	Normal Conditions T _N = 0°C	3.94	---	m ³ /h	kPa	---	deg K	---
		394	---	m ³ /h	bar	---	deg K	---
	Standard Conditions T _S = 15.5°C	4.17	---	m ³ /h	kPa	---	deg K	---
	417	---	m ³ /h	bar	---	deg K	---	
	1360	---	scfh	psia	---	deg R	---	
N ₈		0.948	kg/h	---	kPa	---	deg K	---
		94.8	kg/h	---	bar	---	deg K	---
		19.3	lb/h	---	psia	---	deg R	---
N ₉ ⁽³⁾	Normal Conditions T _N = 0°C	21.2	---	m ³ /h	kPa	---	deg K	---
		2120	---	m ³ /h	bar	---	deg K	---
	Standard Conditions T _S = 15.5°C	22.4	---	m ³ /h	kPa	---	deg K	---
	2240	---	m ³ /h	bar	---	deg K	---	
	7320	---	scfh	psia	---	deg R	---	

1. Many of the equations used in these sizing procedures contain a numerical constant, N, along with a numerical subscript. These numerical constants provide a means for using different units in the equations. Values for the various constants and the applicable units are given in the above table. For example, if the flow rate is given in U.S. gpm and the pressures are psia, N₁ has a value of 1.00. If the flow rate is m³/hr and the pressures are kPa, the N₁ constant becomes 0.0865.
 2. All pressures are absolute.
 3. Pressure base is 101.3 kPa (1.013 bar)(14.7 psia).

Paso 3: Determinar el factor de corrección por geometría de la cañería (Fp).

- Este factor se considera solo si hay accesorios o reductores directamente fijados a la entrada y/o salida de la válvula, de lo contrario se toma $F_p = 1$.
- En el caso de válvulas rotatorias con reductores incluidos este factor ya se incluye en el Cv de la válvula.

Conviene usar datos determinados experimentalmente (proporcionados por fabricantes), de lo contrario se lo debe determinar con la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{C_v}{d^2} \cdot \frac{\sum K}{N_2}}}$$

Donde:

$$\sum K = K_1 + K_2 + K\beta_1 - K\beta_2$$

K_1 , K_2 : coeficientes de pérdida de carga de los accesorios a la entrada y salida de la válvula.

$K\beta_1$, $K\beta_2$: coeficientes de Bernoulli a la entrada y a la salida de la válvula.

N_2 depende de las unidades (mm o pulgadas).

d : diámetro nominal propuesto de la válvula.

C_v : máximo Cv de la válvula propuesta.

Cálculo de K_1 y K_2 :

Si se usa reductor concéntrico corto los valores son:

$$K_1 = 0,5 * (1 - d/D_1^2)^2 ; K_2 = 1,0 * (1 - d/D_2^2)^2$$

Donde:

D_1 = diámetro de la cañería aguas arriba (entrada válvula).

D_2 = diámetro de la cañería aguas abajo (salida válvula).

d = diámetro de la válvula.

Cálculo de $K\beta_1$ y $K\beta_2$:

$$K\beta_1 = (1 - (d/D_1)^4) ; K\beta_2 = (1 - (d/D_2)^4)$$

Donde:

D_1 = diámetro de la cañería aguas arriba (entrada válvula).

D_2 = diámetro de la cañería aguas abajo (salida válvula).

d = diámetro de la válvula.



¡ Para una válvula con reductores idénticos conectados a la entrada y a la salida, se toma $K\beta_1 = K\beta_2 = 0$!

Paso 4: Cálculo del coeficiente de flujo necesario “C_v”.

$$C_v = \frac{Q}{N_1 \cdot F_p \cdot \sqrt{\frac{(P_1 - P_2)}{GF}}}$$

Donde:

Q: flujo máximo del fluido en el proceso en [m³/h].

N₁: para presión en [bar] y caudal en [m³/h] es 0.865.

F_p: factor de corrección por geometría de la cañería.

GF: relación de pesos específicos respecto al del agua a igual temperatura.

Paso 5: Selección en catálogos de válvulas en función del C_v necesario.

Representative Sizing Coefficients for Single-Ported Globe Style Valve Bodies

Valve Size (Inches)	Valve Plug Style	Flow Characteristic	Port Dia. (in.)	Rated Travel (in.)	C _v	F _L	X _T	F _D
1/2	Post Guided	Equal Percentage	0.38	0.50	2.41	0.90	0.54	0.61
3/4	Post Guided	Equal Percentage	0.56	0.50	5.92	0.84	0.61	0.61
1	Micro Form™	Equal Percentage	3/8	3/4	3.07	0.89	0.66	0.72
			1/2	3/4	4.91	0.93	0.80	0.67
			3/4	3/4	8.84	0.97	0.92	0.62
	Cage Guided	Linear	1 5/16	3/4	20.6	0.84	0.64	0.34
1 5/16			3/4	17.2	0.88	0.67	0.38	
1 1/2	Micro-Form™	Equal Percentage	3/8	3/4	3.20	0.84	0.65	0.72
			1/2	3/4	5.18	0.91	0.71	0.67
			3/4	3/4	10.2	0.92	0.80	0.62
	Cage Guided	Linear	1 7/8	3/4	39.2	0.82	0.66	0.34
1 7/8			3/4	35.8	0.84	0.68	0.38	
2	Cage Guided	Linear	2 5/16	1 1/8	72.9	0.77	0.64	0.33
		Equal Percentage	2 5/16	1 1/8	59.7	0.85	0.69	0.31
3	Cage Guided	Linear	3 7/16	1 1/2	148	0.82	0.62	0.30
		Equal Percentage	3 7/16	1 1/2	136	0.82	0.68	0.32
4	Cage Guided	Linear	4 3/8	2	236	0.82	0.69	0.28
		Equal Percentage	4 3/8	2	224	0.82	0.72	0.28
6	Cage Guided	Linear	7	2	433	0.84	0.74	0.28
		Equal Percentage	7	2	394	0.85	0.78	0.26
8	Cage Guided	Linear	8	3	846	0.87	0.81	0.31
		Equal Percentage	8	3	818	0.86	0.81	0.26

Paso 6: Calcular la caída de presión límite máxima (ΔP_S), para la válvula seleccionada para considerar la posibilidad de un flujo ahogado.

Considerando válvula sin accesorios será: $\Delta P_S = F_L^2 \cdot (P_1 - F_F \cdot P_V)$

Cuando hay accesorios: $\Delta P_{S\ LP} = (F_{LP} / F_p)^2 \cdot (P_1 - F_F \cdot P_V)$

Donde :

P_1 = presión absoluta del fluido en la entrada de la válvula.

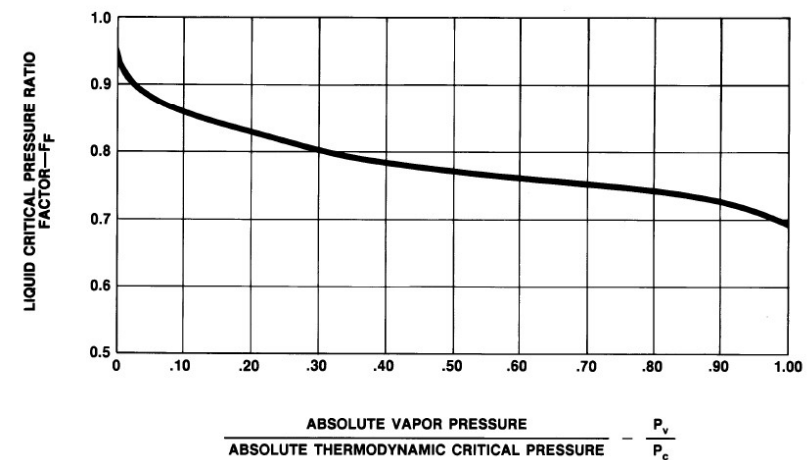
P_v = Presión de vapor absoluta del fluido a la temperatura de entrada a la válvula.

F_L = Factor de recuperación (dato del fabricante).

F_p = Factor de corrección por geometría (calculado en paso 3).

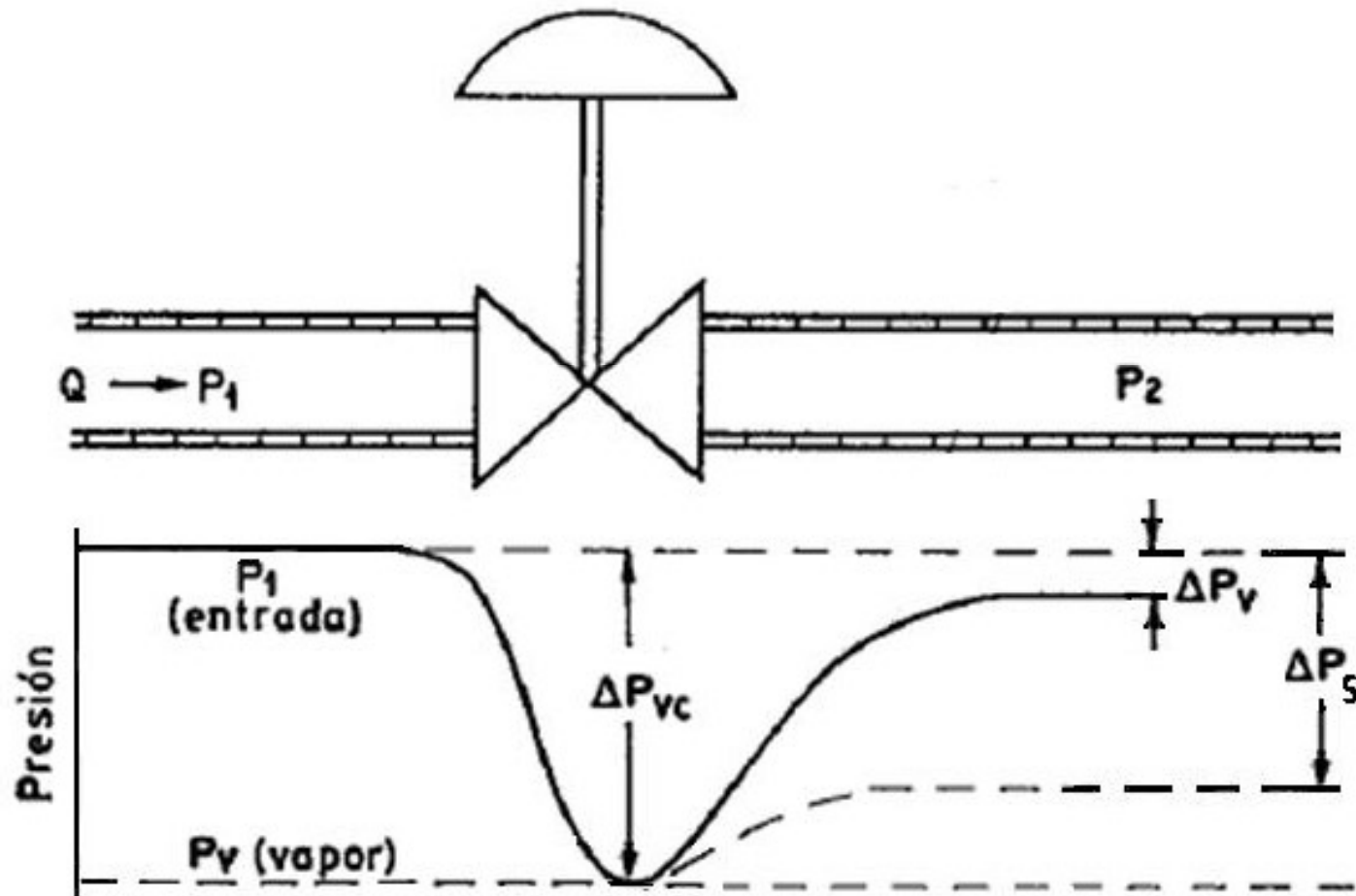
Factor $F_F = 0,96 - 0,28 \cdot (P_v / P_c)^{1/2}$

P_v / P_c = relación entre presión de vapor y presión crítica (abs).



Se debe dar que $\Delta P_v < \Delta P_S$ para evitar la presencia de condiciones críticas.

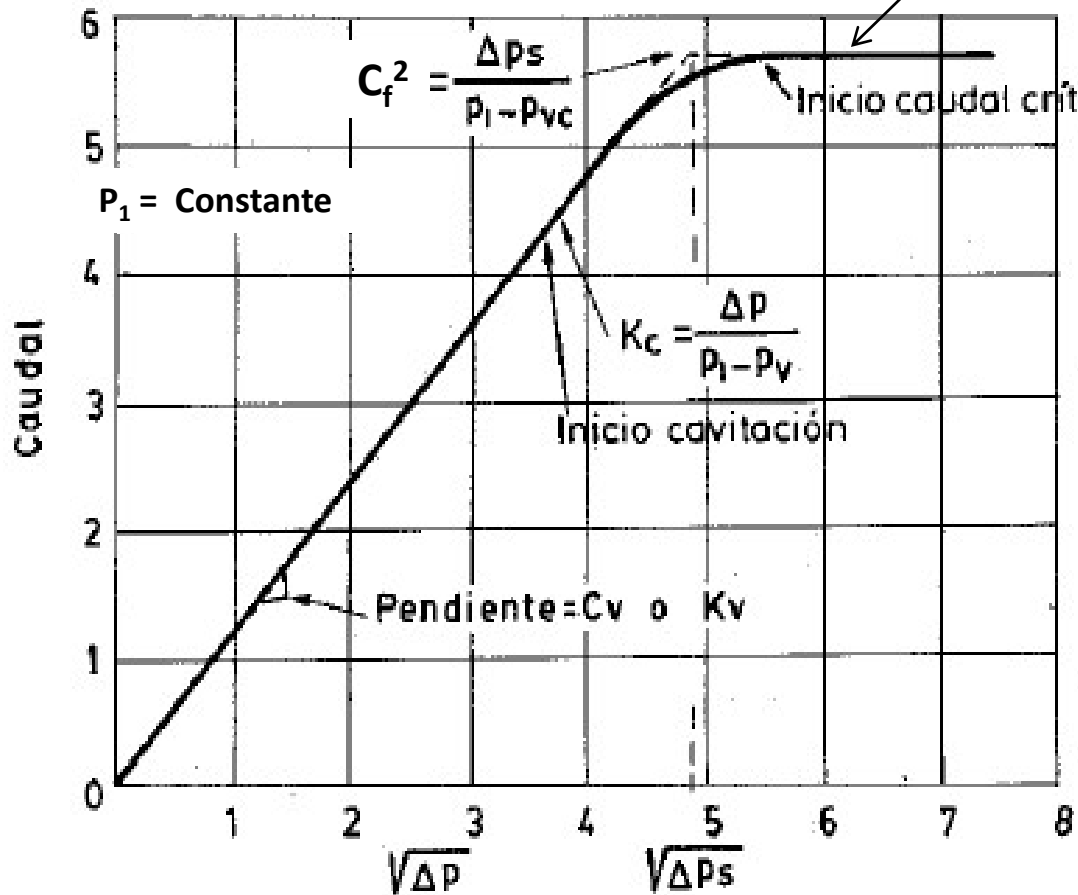
Caída de presión límite de las válvulas de control



Ensayo de escurrimientos de agua a través de una válvula

$$\frac{q}{\sqrt{\Delta p}} = K_v \text{ deducida de } K_v = q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}}$$

Choked Flow



Índice de cavitación

$$K_c = \frac{p_1 - p_2}{p_1 - p_v} = \frac{\Delta p}{p_1 - p_v}$$

Coefficiente de recuperación

$$F_L = \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{p_1 - p_{vc}}}$$

Coefficiente de recuperación para $P_2 < P_v$

$$C_f^2 = \frac{\Delta P_s}{P_1 - P_{vc}}$$

Se alcanza condiciones críticas cuando:

$$\Delta P \geq \Delta P_s = C_f^2 (P_1 - P_{vc})$$

Para prevenir la cavitación debe ser:

$$\Delta P \leq K_c (P_1 - P_v)$$



Selección de válvulas de control para flujos de gases

Concepto de flujo crítico y subcrítico

El **flujo crítico** o sónico de un fluido se define como el flujo del fluido a la velocidad equivalente a la velocidad de propagación (sin considerar la fricción), de una onda de presión (sonido) en el medio (fluido). El flujo crítico o sónico ocurre cuando la velocidad relativa de un fluido (V_f), es equivalente a la velocidad de onda elástica (V_p), o sea:

$$V_f / V_p = M = 1$$

Donde :

M = Número de Mach

En función de este número se definen tres diferentes regímenes de flujo:

Para $M < 1$ el flujo es subsónico.

Para $M > 1$ el flujo es supersónico.

Para $M = 1$ el flujo es sónico o crítico.

Cuando $M = 1$, el área de flujo alcanza su valor mínimo , cuyas propiedades se las denomina “críticas”, a partir de las cuales el flujo comienza a ser independiente de los cambios en la presión, temperatura y densidad, corriente debajo de la restricción, debido a que dichos cambios no pueden viajar corriente arriba.

Por lo tanto disminuciones no significantes en la presión corriente abajo no hacen incrementar el caudal, es decir, que el flujo crítico es el flujo en el cual las perturbaciones de presión y temperatura corriente abajo no son transmitidas corriente arriba tal que puedan afectar el caudal.

El flujo crítico para los gases ocurre aproximadamente cuando: $P_1 / P_2 = 0,528$

Procedimiento de cálculo

Paso 1: Búsqueda de valores y datos de operación según Norma ISA.

a) Características del fluido gaseoso:

G_g = densidad relativa al aire o gravedad específica del gas (ρ_{gas}/ρ_{aire}).

γ_{gas} = peso específico del gas a las condiciones de la entrada a la válvula.

M = Peso molecular del gas.

K = Relación de calores específicos (C_p/C_v).

Z = Factor de compresibilidad (adimensional).

b) Caídas de presión:

P_1 = presión del gas a la entrada de la válvula.

P_2 = presión del gas a la salida de la válvula.

$\Delta P = (P_1 - P_2)$ caída de presión en la válvula.

T_1 = temperatura absoluta del gas a la entrada de la válvula en °K.

c) Rangos de control:

$Q_{m\acute{a}x.}$ = caudal máximo del fluido en el proceso.

$Q_{nor.}$ = caudal normal del fluido en el proceso.

$Q_{m\acute{i}n.}$ = caudal mínimo del fluido en el proceso.

d) Compatibilidad con materiales:

Debe existir compatibilidad entre el fluido gaseoso y los materiales de las juntas y del cuerpo de las válvulas.

Paso 2: Determinar el coeficiente de corrección de unidades.

Quando se trabaja con flujos volumétricos (scfh o m³/h) y con la relación de densidades Gg, utilizar N7.

Quando se trabaja con flujos volumétricos (scfh o m³/h) y con el peso molecular M, utilizar N9.

Quando se trabaja con flujos máscicos (lb/h o kg/h) y con el peso específico γ_{gas} , utilizar N6.

Quando se trabaja con flujos máscicos (lb/h o kg/h) y con el peso molecular M, utilizar N8.

Equation Constants⁽¹⁾

		N	w	q	p ⁽²⁾	γ	T	d, D
N ₁		0.0865	---	m ³ /h	kPa	---	---	---
		0.865	---	m ³ /h	bar	---	---	---
		1.00	---	gpm	psia	---	---	---
N ₂		0.00214	---	---	---	---	---	mm
		890	---	---	---	---	---	inch
N ₅		0.00241	---	---	---	---	---	mm
		1000	---	---	---	---	---	inch
N ₆		2.73	kg/h	---	kPa	kg/m ³	---	---
		27.3	kg/h	---	bar	kg/m ³	---	---
		63.3	lb/h	---	psia	lb/ft ³	---	---
N ₇ ⁽³⁾	Normal Conditions T _N = 0°C	3.94	---	m ³ /h	kPa	---	deg K	---
		394	---	m ³ /h	bar	---	deg K	---
	Standard Conditions T _S = 15.5°C	4.17	---	m ³ /h	kPa	---	deg K	---
	417	---	m ³ /h	bar	---	deg K	---	
	Standard Conditions T _S = 60°F	1360	---	scfh	psia	---	deg R	---
N ₈		0.948	kg/h	---	kPa	---	deg K	---
		94.8	kg/h	---	bar	---	deg K	---
		19.3	lb/h	---	psia	---	deg R	---
N ₉ ⁽³⁾	Normal Conditions T _N = 0°C	21.2	---	m ³ /h	kPa	---	deg K	---
		2120	---	m ³ /h	bar	---	deg K	---
	Standard Conditions T _S = 15.5°C	22.4	---	m ³ /h	kPa	---	deg K	---
	2240	---	m ³ /h	bar	---	deg K	---	
	Standard Conditions T _S = 60°F	7320	---	scfh	psia	---	deg R	---

1. Many of the equations used in these sizing procedures contain a numerical constant, N, along with a numerical subscript. These numerical constants provide a means for using different units in the equations. Values for the various constants and the applicable units are given in the above table. For example, if the flow rate is given in U.S. gpm and the pressures are psia, N₁ has a value of 1.00. If the flow rate is m³/hr and the pressures are kPa, the N₁ constant becomes 0.0865.
2. All pressures are absolute.
3. Pressure base is 101.3 kPa (1.013 bar)(14.7 psia).

Paso 3: Determinar el factor de corrección por geometría de la cañería (Fp).

Al igual que para el caso de flujos líquidos, se determina este factor solo si hay accesorios o reductores directamente fijados a la entrada y /o salida de la válvula. Se adopta Fp = 1 en el caso de no disponer de los mismos.

El procedimiento de cálculo del factor, es similar que para líquidos.

Paso 4: Determinar el factor de expansión Y

$$Y = 1 - [X / (3 \cdot F_K \cdot X_t)]$$

Donde:

F_K = Relación entre K del gas y el K del aire, donde $K = C_p/C_v =$ relación de calores específicos (exponente de la evolución adiabática). En la práctica se toma: $F_K = K_{gas} / K_{aire} = K_{gas} / 1,44$.

X = Relación de caída de presión ($X = \Delta P / P_1$).

X_t = Relación de presiones crítica (caudal máximo para $F_K = 1$), sin accesorios ni reductores en la entrada y/o salida de la válvula.

Se debe cumplir que: $X < F_K \cdot X_t$

En el caso de haber accesorios en la entrada o en la salida de la válvula, se debe cumplir que:

$$X < F_K \cdot X_{tp}$$

Se define a X_{tp} como la relación de presiones crítica para el caudal máximo en la válvula con accesorios en la entrada y/o salida de la misma. Esta relación se calcula con:

$$X_{TP} = \frac{X_T}{F_P^2} \left[1 + \frac{X_T K_J}{N_5} \left(\frac{C_v}{d^2} \right)^2 \right]^{-1}$$

Donde:

N_5 = constante en función de las unidades utilizadas (ver tabla de constantes).

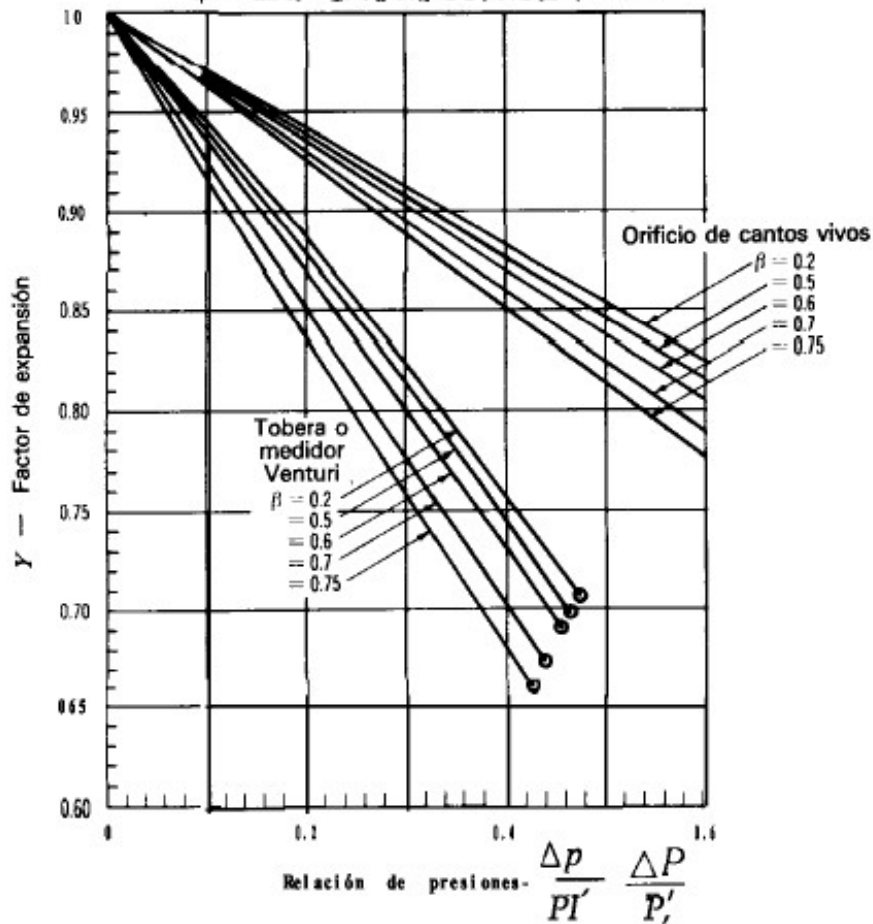
K_j = coeficiente de resistencia y de Bernoulli aguas arriba de la válvula ($K_j = K_1 + K_{\beta 1}$).

En ningún caso X debe superar a X_t o a X_{tp} !!

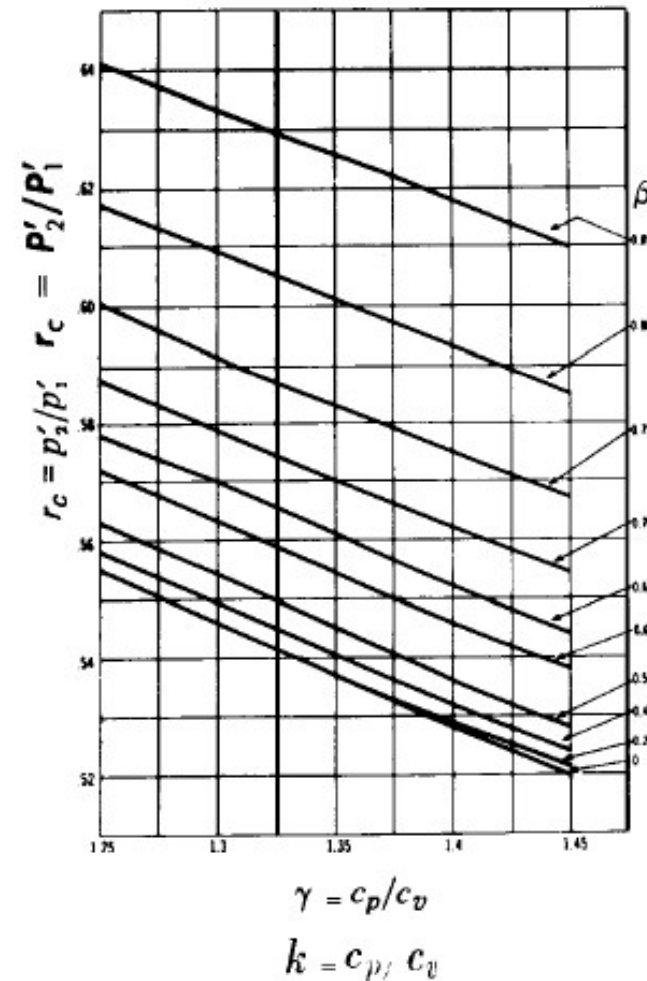
Factor neto de expansión, Y
 para flujo compresible
 en toberas y orificios⁹

$\gamma, k = 1.4$ aproximadamente

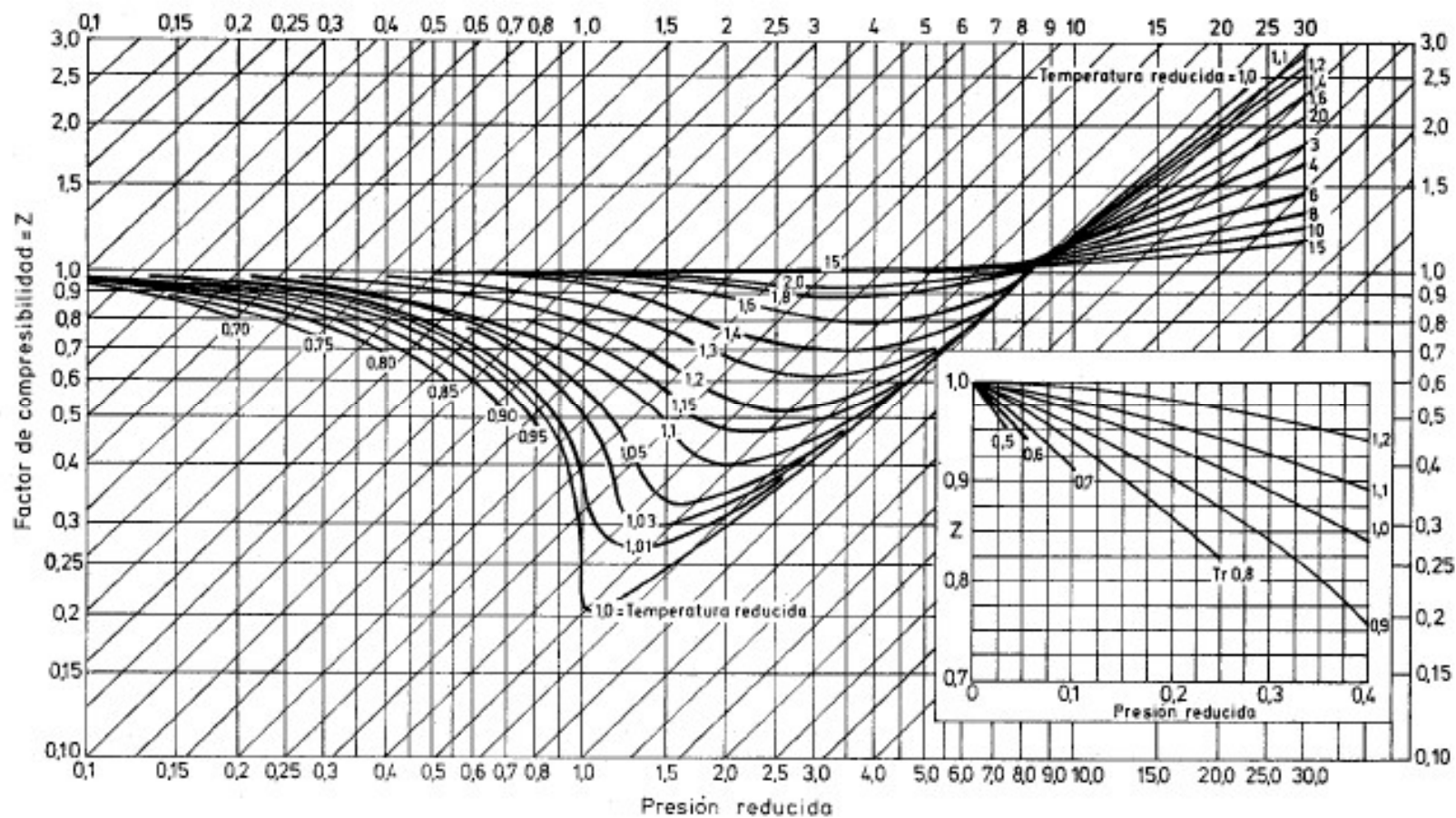
(para aire, H_2 , O_2 , N_2 , CO , NO ,... y HCl)



Relación crítica de presiones, r_c
 para flujo compresible
 en toberas y tubos Venturi⁹



FACTOR DE COMPRESIBILIDAD (Z)



Límite del valor del factor de expansión Y

El factor Y tiene entonces, debido a que después de la válvula se establece el flujo crítico, un valor mínimo dado por: $Y = 1 - [X / (3 \cdot F_K \cdot X_t)] = 1 - (1/3) = 0.667$ ----- Entonces: $Y \geq 0.667$

Paso 5: Cálculo del coeficiente de flujo necesario “CV”.

Para cálculo en Volumen p.ej. gpm	
$C_v = \frac{q}{N_7 F_p P_1 Y \sqrt{\frac{x}{G g T_1 Z}}}$	$C_v = \frac{q}{N_7 F_p P_1 Y \sqrt{\frac{x}{M T_1 Z}}}$
Para cálculo en Gasto o Caudal Másico	
$C_v = \frac{W}{N_6 F_p Y \sqrt{x P_1 Y_1}}$	$C_v = \frac{W}{N_8 F_p P_1 Y \sqrt{\frac{x M}{T_1 Z}}}$