

# GUÍA PARA SELECCIONAR Y DIMENSIONAR VÁLVULAS DE CONTROL



## Criterio de selección general de válvulas de control

Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos

1. Los valores normales y límites de presión que soporta el cuerpo de la válvula
2. Dimensionamiento y capacidad de flujo
3. Característica de flujo y rangeabilidad
4. Límites de temperatura
5. Caudal de fuga
6. Pérdidas de presiones normales y cuando la válvula está cerrada
7. Requerimientos de las conexiones de la válvula al sistema de cañería
8. Compatibilidad del material con la aplicación y durabilidad
9. Costo y vida útil

Los proveedores de válvulas suministran al usuario tablas de selección en función de la aplicación. Comentaremos, en particular, las características de flujo de las válvulas de control.

## Característica de flujo

Un criterio importante en la selección de las válvulas es la característica inherente de flujo que define la relación caudal - apertura del elemento final de control cuando la caída de presión a través de la válvula se mantiene constante. En forma equivalente, la característica de flujo inherente es la relación entre coeficiente de flujo  $C_v$  y la apertura.

Las características inherentes de flujo típicas son: lineal, igual porcentaje, parabólica y apertura rápida.

La elección de la característica de flujo inherente tiene influencia en la estabilidad y controlabilidad debido a la influencia de la ganancia del cuerpo de la válvula en la ganancia global de los elementos del lazo. La Figura 1 muestra las distintas características de flujo de las válvulas comerciales.

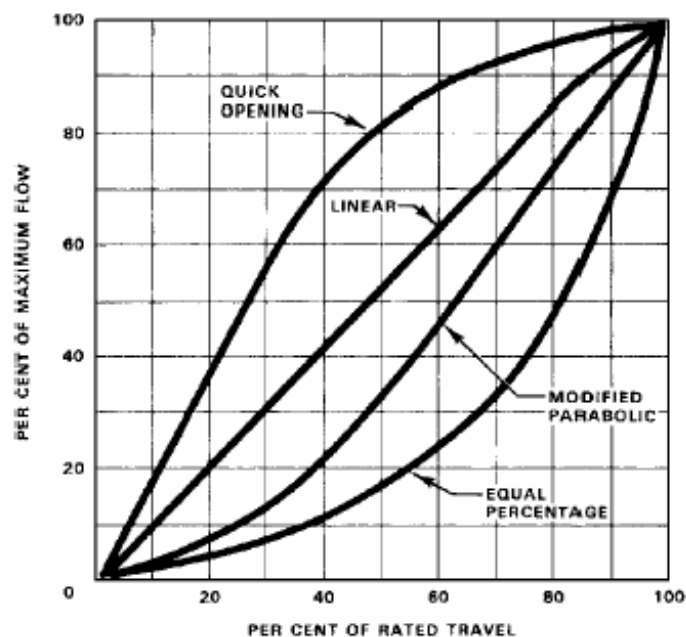


Figura 1: Característica inherente de válvulas de control comerciales

En la tabla 1 se describen algunas recomendaciones para la selección de la característica de flujo inherente de acuerdo a la variable que se desea controlar y al fluido.

*Tabla 1 Recomendaciones para elegir la característica de flujo de válvulas de control en lazos de caudal, nivel y presión*

*Liquid-Level Systems*

Control Valve Pressure Drop	Best Inherent Characteristic
Constant $\Delta P$	Linear
Decreasing $\Delta P$ with increasing load, $\Delta P$ at maximum load $>20\%$ of minimum-load $\Delta P$	Linear
Decreasing $\Delta P$ with increasing load, $\Delta P$ at maximum load $<20\%$ of minimum-load $\Delta P$	Equal percentage
Increasing $\Delta P$ with increasing load, $\Delta P$ at maximum load $<200\%$ of minimum-load $\Delta P$	Linear
Increasing $\Delta P$ with increasing load, $\Delta P$ at maximum load $>200\%$ of minimum-load $\Delta P$	Quick opening

*Pressure Control Systems*

Application	Best Inherent Characteristic
Liquid process	Equal percentage
Gas process, small volume, less than 10 ft of pipe between control valve and load valve	Equal percentage
Gas process, large volume (process has receiver, distribution system, or transmission line exceeding 100 ft of nominal pipe volume), decreasing $\Delta P$ with increasing load, $\Delta P$ at maximum load $>20\%$ of minimum-load $\Delta P$	Linear
Gas process, large volume, decreasing $\Delta P$ with increasing load, $\Delta P$ at maximum load $<20\%$ of minimum load $\Delta P$	Equal percentage

*Flow Control Processes*

Flow measurement signal to controller	Location of control valve in relation to measuring element	Best Inherent Characteristic	
		Wide range of flow set point	Small range of flow but large $\Delta P$ change at valve with increasing load
Proportional to flow	In series	Linear	Equal percentage
	In bypass <sup>†</sup>	Linear	Equal percentage
Proportional to flow squared	In series	Linear	Equal percentage
	In bypass	Equal percentage	Equal percentage

<sup>\*</sup> Based on a combination of applied control theory and actual experience. (Fisher Controls International, Inc.)

<sup>†</sup> When control valve closes, flow rate increases in measuring element.

## Dimensionamiento de válvulas de control

Una vez seleccionado el **tipo de válvula** teniendo en cuenta los aspectos enunciados anteriormente se la debe *dimensionar*.

La ecuación general de flujo de una válvula de control se obtuvo gracias a los esfuerzos de Daniel Bernoulli y a pruebas experimentales

$$F = C_v \sqrt{\frac{\Delta p_v}{\gamma}} \quad [1]$$

F = Caudal [gpm]

$C_v$  = Coeficiente de dimensionamiento de la válvula. Determinado midiendo el caudal de que circula a caída de presión constante a 60 F

$P_1$  = presión aguas arriba

$P_2$  = Presión aguas abajo

$\gamma$  = Densidad relativa

Dimensionar una válvula significa **determinar el diámetro del orificio** de manera que cuando deba circular el caudal normal mínimo y normal máximo las aperturas se encuentren en el tramo intermedio de su carrera (entre el 30 y el 70 %). La apertura será del 100 % para el caudal máximo. Con estas condiciones de cálculo se aseguran capacidad de regulación y rangeabilidad adecuadas.

## Procedimiento general para el dimensionamiento:

### 1. Determinar la caída de presión a través de la válvula $\Delta p_v$ .

Hay dos situaciones para fijar el salto de presión:

- La válvula se instalará en una línea existente.** Planteando el balance de presiones (Teorema de Bernoulli) se puede conocer la distribución de presiones en la línea dónde se montará la válvula. Se deben considerar las pérdidas en equipos, accesorios y en el caso de órganos de impulsión la energía de suministro. La diferencia entre la fuerza impulsora y la pérdida de carga de la línea es lo que tiene disponible la válvula
- La válvula estará en una línea nueva en la que se deben especificar los sistemas de impulsión inclusive.** Un heurístico propone que se establezca en 50% de la caída de presión en la línea sin válvula (33% de la caída de presión total).

### 2. Determinación de los caudales de operación

Se deben conocer (información del proceso) los caudales normales de trabajo (máximo y mínimo):  $F_{N\min}$ ,  $F_{N\max}$ . Al caudal máximo (válvula completamente abierta) se lo puede calcular como el máximo que circularía si válvula estaría completamente abierta. Se puede adoptar como estimación 1.25 veces el caudal normal máximo.

### 3. Cálculo de $C_v$ para líquidos

- Si la viscosidad cinemática es  $\geq 20$  cst el régimen es laminar y la ecuación del coeficiente de descarga de la válvula es:

$$C_v = 0.072 \left( \frac{\mu [cp] * F [gpm]}{\Delta p_v [psi]} \right)^{\frac{2}{3}} \quad [2]$$

- Si la viscosidad cinemática es  $\leq 20$  cst el régimen es turbulento y se debe analizar:

Si hay riesgo de cavitación incipiente que se da para las válvulas con alto coeficiente de recuperación de la caída de presión a las salida de la misma respecto a la que se produciría en al vena contracta

Si el flujo es crítico (flasheo) ó subcrítico

Estas tres situaciones deben ser identificadas para la caída de presión que debe utilizarse para el cálculo de  $C_v$  de la válvula

Verificación de *cavitación* incipiente. La válvula cavitará si:

$$\Delta p_v \geq K_c * (P_1 - P_v) \quad [3]$$

$P_1$  = presión aguas arriba

$P_v$  = Presión de vapor del fluido a la temperatura de trabajo

$K_c$  = coeficiente de cavitación incipiente, suministrado por el fabricante

En este caso se usa la ecuación [1] para el cálculo de  $C_v$  pero la *caída máxima de presión admisible* será  $\Delta p_v = K_c (P_1 - P_v)$  y este es el valor que se usa.

Verificación de flujo crítico ó subcrítico

**Flujo crítico**

$$\Delta p_v \geq C_f^2 \Delta P_s \quad [4]$$

$$\Delta P_s = P_1 - \left[ 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{P_v}{P_c}} \right] P_v \quad [5]$$

$P_c$ : presión crítica

$C_f$ : factor de fluido crítico suministrado por el fabricante Masoneilan (ver Tabla 3)

$$\text{Si } P_v < 0.5 P_1 \quad [6]$$

$$\Delta P_s = P_1 - P_v \quad [7]$$

En este caso se usa la ecuación [1] para el cálculo de  $C_v$  pero la *caída máxima de presión admisible* será  $\Delta p_v = C_f^2 * \Delta P_s$  y éste es el valor que se usa.

**Flujo subcrítico**

$$\Delta p_v < C_f^2 \Delta P_s \quad [8]$$

Vale la simplificación de la ecuación [7] si se cumple la ecuación [6]

En este caso en la ecuación [1] para el cálculo de  $C_v$  se usa el  $\Delta p_v$  calculado.

**4. Cálculo de  $C_v$  para gases ó vapor**

**Flujo crítico**

$$\Delta p_v \geq 0.5 C_f^2 P_1 \quad [9]$$

En este caso se usa la ecuación [1] para el cálculo de  $C_v$  pero la *caída máxima de presión admisible* será

$$\Delta p_v = C_f^2 \Delta P_s \text{ y este es el valor que se usa}$$

**Flujo subcrítico**

$$\Delta p_v < 0.5 C_f^2 P_1 \quad [10]$$

Vale la simplificación de la ecuación [7] si se cumple la ecuación [6]

En este caso en la ecuación [1] para el cálculo de  $C_v$  se usa el  $\Delta p_v$  calculado.

Las ecuaciones para vapor y gases se muestran en la Tabla siguiente. Allí se explica cómo se procede para el cálculo del  $C_v$  en el caso de flujo de transición entre flujos crítico y subcrítico.

Tabla 2 Ecuaciones de dimensionamiento para vapor y gases

Subcritical flow $\Delta P < 0.5C_f^2 P_1$	Critical flow $\Delta P \geq 0.5C_f^2 P_1$
Volumetric flow:	
$C_v = \frac{Q}{963} \sqrt{\frac{GT}{\Delta P(P_1 + P_2)}}$	$C_v = \frac{Q\sqrt{GT}}{834C_f P_1}$
Flow by weight:	
$C_v = \frac{W}{3.22\sqrt{\Delta P(P_1 + P_2)G_f}}$	$C_v = \frac{W}{2.8C_f P_1 \sqrt{G_f}}$
For saturated steam:	
$C_v = \frac{W}{2.1\sqrt{\Delta P(P_1 + P_2)}}$	$C_v = \frac{W}{1.83C_f P_1}$
For superheated steam:	
$C_v = \frac{W(1 + 0.0007T_{sh})}{2.1\sqrt{\Delta P(P_1 + P_2)}}$	$C_v = \frac{W(1 + 0.0007T_{sh})}{1.83C_f P_1}$

where  $C_v$  = valve flow coefficient  
 $C_f$  = critical flow factor  
 $G$  = gas specific gravity (air = 1.0)  
 $G_f$  = specific gravity at flowing temperature  
 $P_1$  = upstream pressure, psia  
 $P_2$  = downstream pressure, psia

$\Delta P$  = pressure drop  $P_1 - P_2$ , psi  
 $Q$  = gas flow rate at 14.7 psia and 60°F, std ft<sup>3</sup>/h  
 $T$  = flowing temperature, °R, (460 + °F)  
 $T_{sh}$  = steam superheat, °F  
 $W$  = flow rate, lb/h

Special considerations:

- a. Effect of pipe reducers      b. Limitation of outlet velocity

The valve sizing formulas for gas and vapor tabulated above introduce some error between flow at a low pressure drop ( $\sim 0.2P_1$ ) and critical flow. This error approaches 12% under the most unfavorable conditions. For a more precise determination of  $C_v$ , especially within the transition zone from subcritical to critical flow and for computerized valve sizing, the following unified gas sizing formula should be used.

For gas volumetric flow:

$$C_v = \frac{Q\sqrt{GT}}{834C_f P_1 (Y - 0.148Y^3)}$$

Flow by weight:

$$C_v = \frac{W}{2.8C_f P_1 \sqrt{G_f} (Y - 0.148Y^3)}$$

For saturated steam:

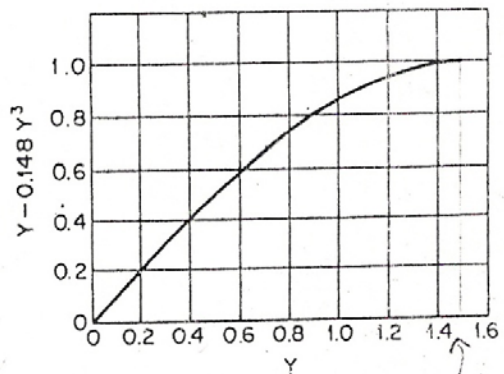
$$C_v = \frac{W}{1.83C_f P_1 (Y - 0.148Y^3)}$$

For superheated steam:

$$C_v = \frac{W(1 + 0.0007T_{sh})}{1.83C_f P_1 (Y - 0.148Y^3)}$$

where

$$Y = \frac{1.63}{C_f} \sqrt{\frac{\Delta P}{P_1}}$$



max Y =

## 5. Determinación del diámetro

Del catálogo se determina el diámetro de la válvula según el  $C_v$  requerido en función de la apertura. Si el diámetro de la válvula y cañería son los mismos allí termina el dimensionamiento. Debe tenerse en cuenta que el  $C_v$  disponible por el fabricante puede ser mayor que el requerido lo que con lleva al cálculo de los nuevos caudales.

Si el diámetro de la válvula y la cañería son diferentes se debe tener en cuenta la pérdida de carga adicional usando un factor de corrección para recalculer el  $C_v$  requerido.

El  $C_v$  corregido se calcula como:

$$C_{v\text{corregido}} = \frac{C_{v\text{calculado}}}{R} \quad [11]$$

R: Factor de corrección de capacidad por reducción

Este valor aparece en la tabla 2 para  $d/D=1.5$  y  $2$ . Si la relación es otra se usa la ecuación 13.

$$R = \sqrt{1 - 1.5 \left[ \frac{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}{R} \right]^2 \left[ \frac{C_v(100\%)}{30d^2} \right]^2} \quad [13]$$

d: diámetro de la válvula

D: diámetro de la cañería

Si el ángulo de reducción es menor de  $40^\circ$  se reemplaza el valor 1.5 por 1.

En el caso que haya reducción cañería válvula y el flujo es crítico (para gases y vapores) el factor de verificación de flujo crítico que se utiliza es  $C_{fr/R}$

El flujo es crítico si

$$\Delta p_v \geq \left( \frac{C_{fr}}{R} \right)^2 P_1 \quad [14]$$

Y el  $\Delta p_v$  que se usa en la ecuación es  $\left( \frac{C_{fr}}{R} \right)^2 P_1$

Tabla 3 Factores de dimensionamiento para flujo máximo (Masoneilan)

Valve type	Trim size*	Flow to	Cf	K <sub>C</sub> *	Cfr	D/d = 1.5		D/d = 2	
					D/d ≥ 1.5	R	Cfr/R	R	Cfr/R
Single-port top-entry globe	A	Close	0.85	0.58	0.81	0.96	0.84	0.94	0.86
		Open	0.90	0.65	0.86	0.96	0.89	0.94	0.91
	B	Close	0.80	0.52	0.80	1.0	0.80	1.0	0.80
		Open	0.90	0.65	0.90	1.0	0.90	1.0	0.90
Single-port balanced quick-change Top-entry angle	A	Close	0.90	0.65	0.86	0.96	0.89	0.94	0.91
	B	Close	0.90	0.65	0.90	1.0	0.90	1.0	0.90
	A	Close	0.81	0.53	0.78	0.96	0.81	0.94	0.82
		Open	0.89	0.64	0.85	0.96	0.88	0.94	0.90
	B	Close	0.80	0.52	0.80	1.0	0.80	1.0	0.80
		Open	0.90	0.65	0.90	1.0	0.90	1.0	0.90
Streamlined angle	A	Close	0.48	0.17	0.45	0.85	0.53	0.77	0.57
		Open	0.90	0.65	0.84	0.95	0.89	0.91	0.91
	B	Close	0.55	0.23	0.54	1.0	0.54	1.0	0.54
		Open	0.95	0.72	0.93	1.0	0.93	1.0	0.93
Split body globe	A	Close	0.80	0.51	0.77	0.96	0.80	0.94	0.81
		Open	0.75	0.46	0.72	0.96	0.75	0.94	0.77
	B	Close	0.80	0.52	0.80	1.0	0.80	1.0	0.80
		Open	0.90	0.65	0.89	1.0	0.89	1.0	0.90
Top-and-bottom-guided double port	A	Cont.	0.90	0.70	0.86	0.96	0.90	0.94	0.92
		V port	0.98	0.80	0.94	0.96	0.98	0.94	1.0
	B	Cont.	0.80	0.31	0.80	1.0	0.80	1.0	0.80
		V port	0.95	0.73	0.94	1.0	0.94	1.0	0.94
Single-port eccentric rotating	A	Close	0.68	0.35	0.65	0.95	0.68	0.92	0.71
		Open	0.85	0.60	0.80	0.95	0.84	0.92	0.86
	B	Close	0.70	0.39	0.70	1.0	0.70	1.0	0.70
		Open	0.88	0.62	0.87	1.0	0.87	1.0	0.87
Butterfly	A	60°	0.68	0.35	0.63	0.91	0.69	0.85	0.73
		90°	0.58	0.25	0.51	0.77	0.66	0.67	0.74
Control ball	A		0.60	0.24	0.55	0.87	0.63	0.80	0.68

\* A, full capacity trim, orifice diameter 0.8 valve size; B. reduced capacity trim 50% of A and below.

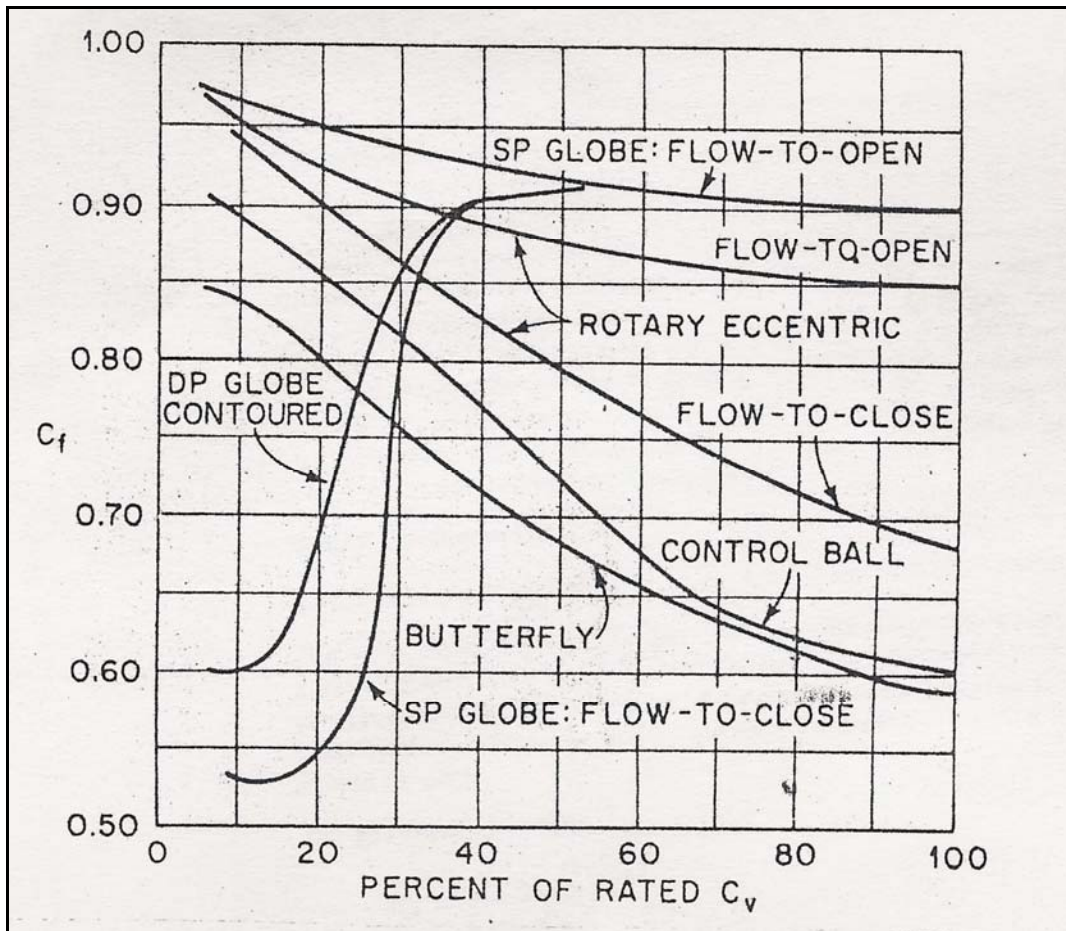


Figura 2 Factores de dimensionamiento en función de la apertura (Masoneilan)