



*Control de Procesos Químicos*

## **Tema 5 – Válvulas de control**

Tipos

Curvas características

Selección

Dimensionado

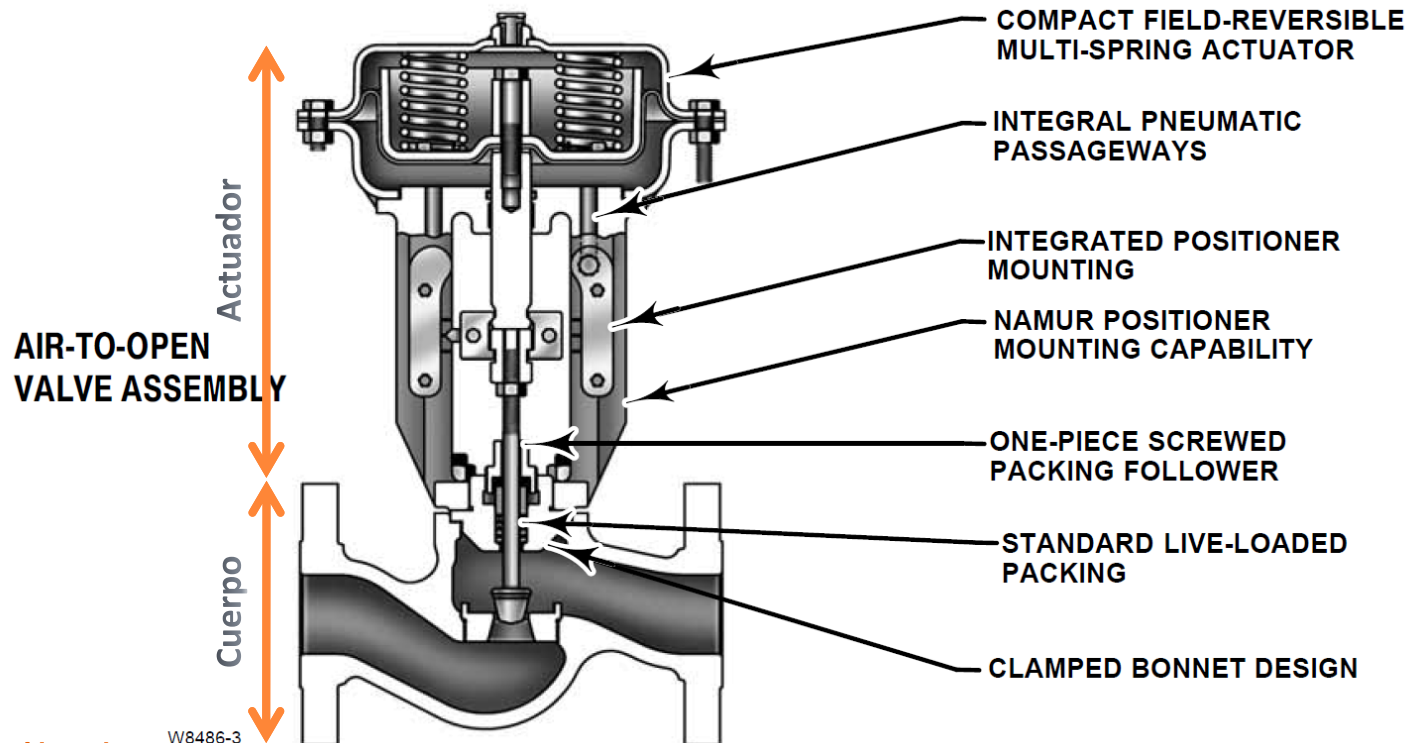
Cálculo de cavitación y flashing

## Introducción

Las válvulas son los elementos finales de control más utilizados en la industria química, al manipularse caudales de fluidos, líquidos y gaseosos. Para ajustar el flujo de fluidos en una línea existen básicamente dos mecanismos:

- Modificar la energía entregada al fluido (bombas y ventiladores de velocidad variable)
- Modificar la resistencia al paso de fluido (válvulas)

Básicamente, se distinguen dos partes en la válvula: Cuerpo y Actuador



## Tipos de válvulas

Especificar el tipo de válvula de control que se utiliza, implica determinar una serie de características:

- Cuerpo y partes internas: tipo el tipo de válvula, material, diámetro
- Actuador: neumático, eléctrico, la acción ante fallo y el tamaño
- Accesorios: convertidores I/P, posicionadores, volantes manuales.....

## Tipos de válvulas (actuador)

### Neumáticos de diafragma.

Fiabes, simples, donde no se requieren grandes fuerzas, económicos  
No aplicables a válvulas con grandes recorridos

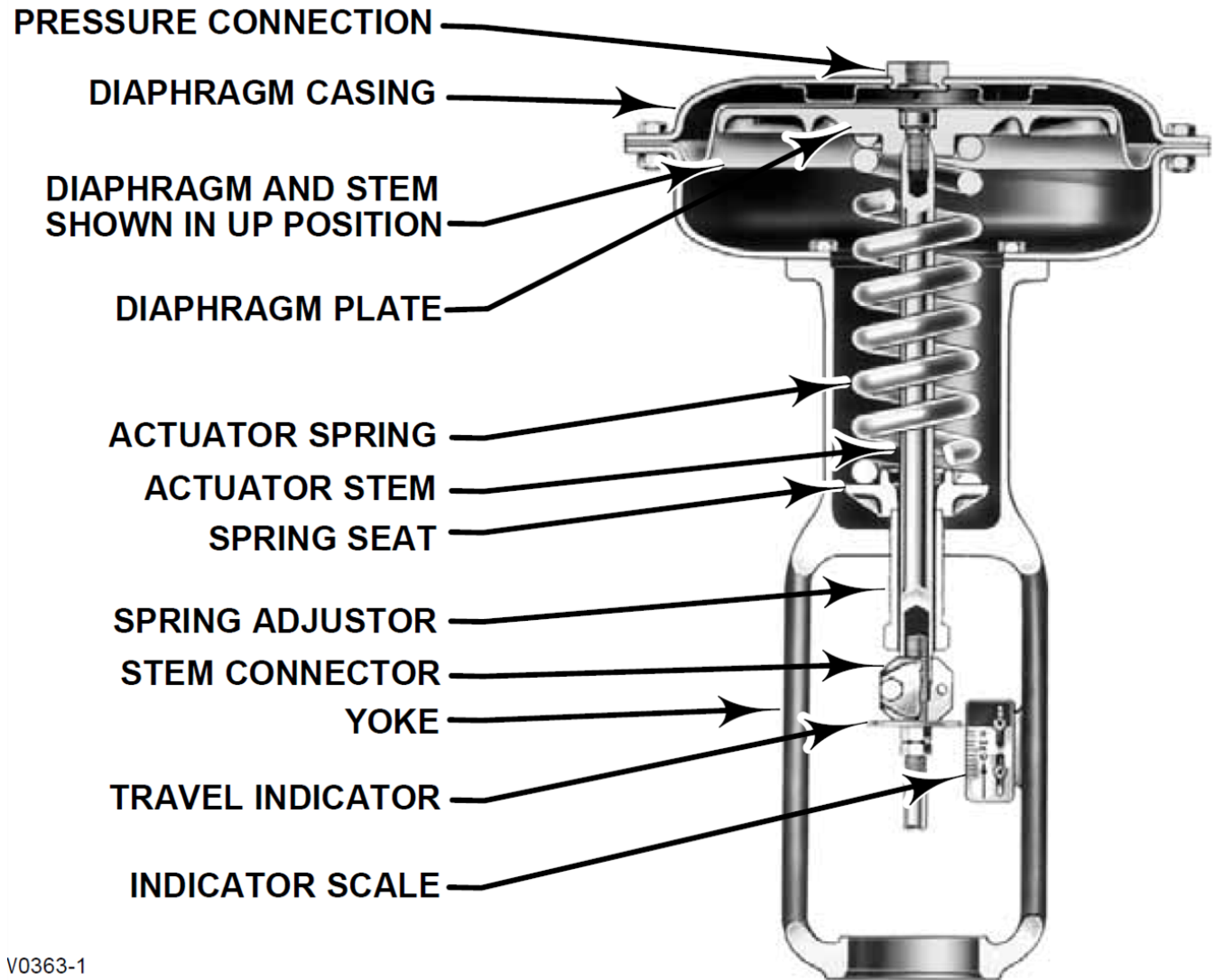
### Neumáticos de pistón.

Capaces de suministrar grandes fuerzas, rápidas.  
Precisan posicionador y sistemas de enclavamiento ante fallo

### Eléctricos.

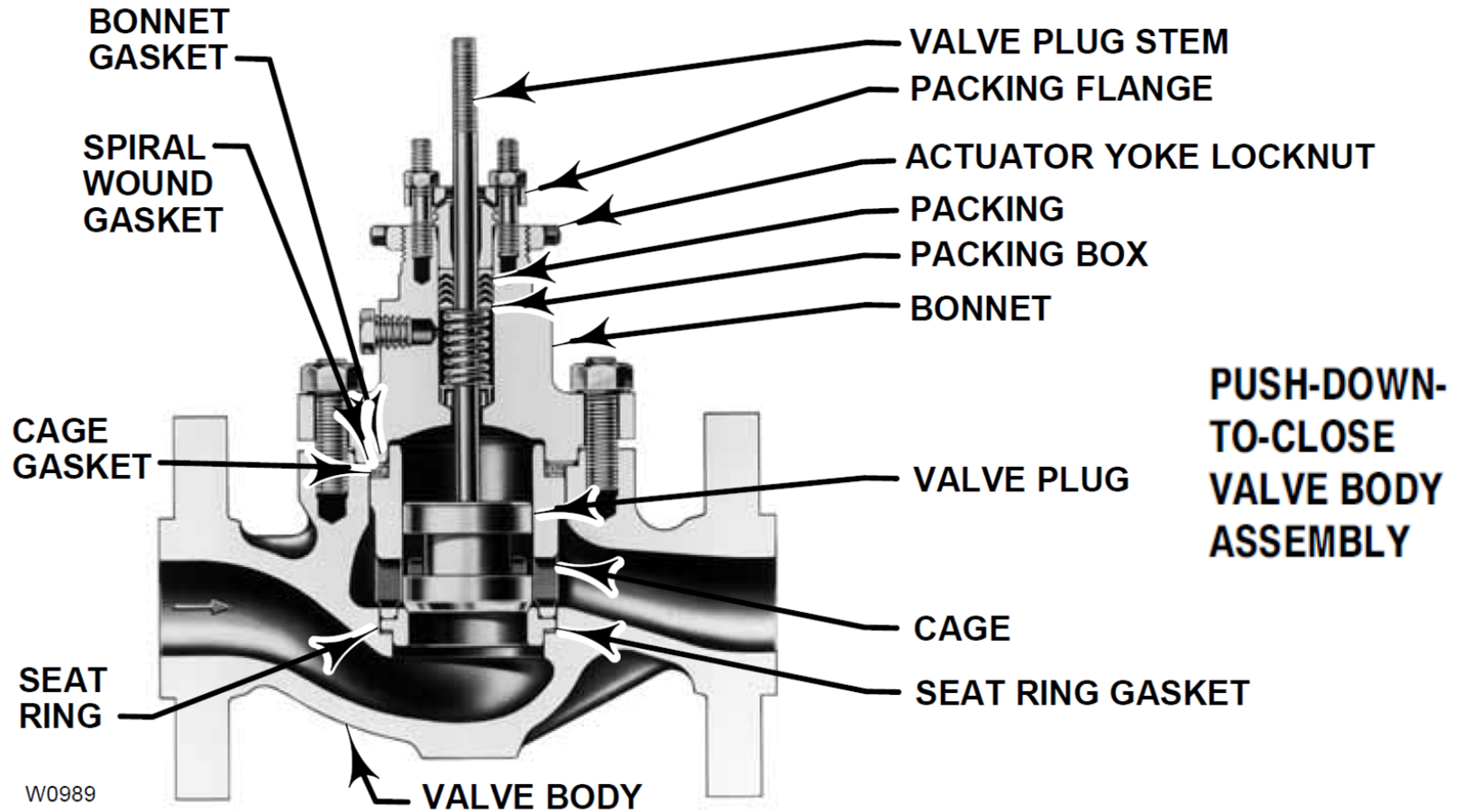
Precisan señal eléctrica de alimentación y de control;  
menores costes de instalación y mantenimiento  
Precio elevado, precisan de posicionador

### Actuador neumático



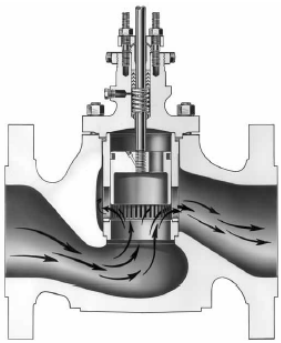
Tipos de válvulas (cuerpo)

Cuerpo de válvula

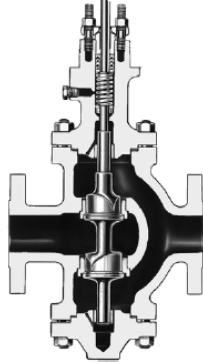


## Tipos de válvulas

**Válvula de globo.** Para amplios rangos de caudal, amplia selección de materiales de construcción. Grandes pérdidas de carga a grandes caudales; más caras que mariposa



W0997/IL



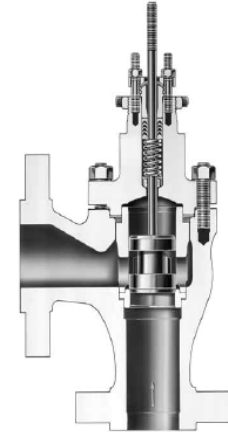
W0467/IL

**Válvula de bola.** . Buen control para fluidos viscosos, erosivos; mayor capacidad que las de globo. No aptas para fluidos cavitantes; alto precio



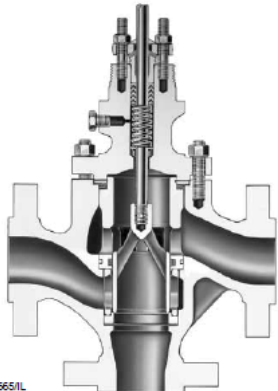
W8176-1

**Válvula en ángulo.** Para fluidos que vaporizan, y sólidos en suspensión.



1971/IL

**Válvulas de tres vías.** Para mezclar fluidos o para derivar uno de entrada en dos de salida.(splitter) Típico del control de temperatura en intercambiadores de calor.



1665/IL

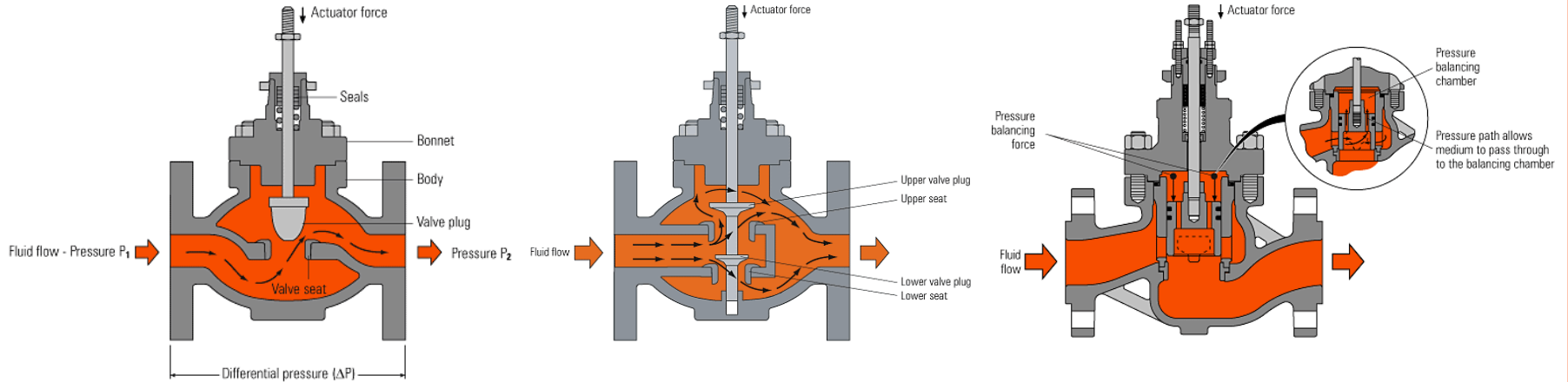
**Válvula de mariposa.** Muy sencilla, barata y fácil de implementar. Al igual que la de bola, no se considera una válvula de regulación sino todo-nada.



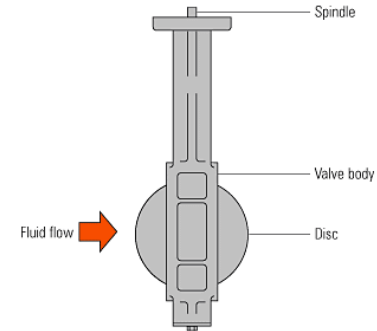
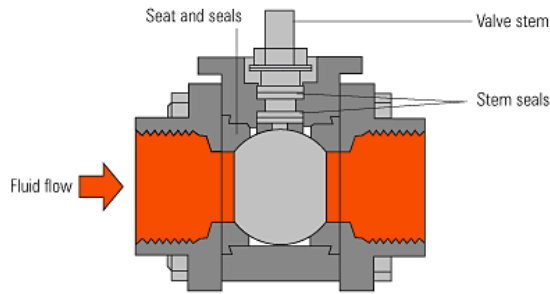
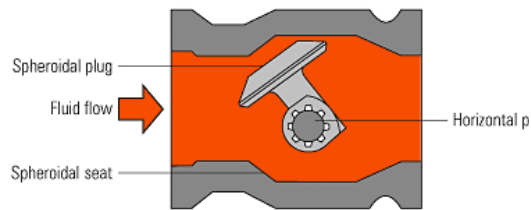
W4541

## Tipos de válvulas

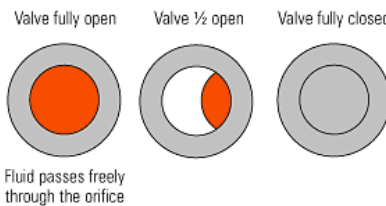
### Accionamiento axial



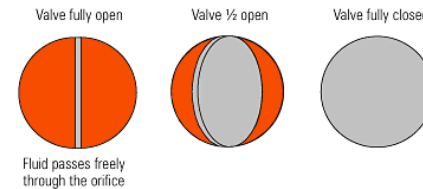
### Accionamiento rotatorio



End view of the ball within the ball valve at different stages of rotation



End view of the disc within the butterfly valve at different stages of rotation



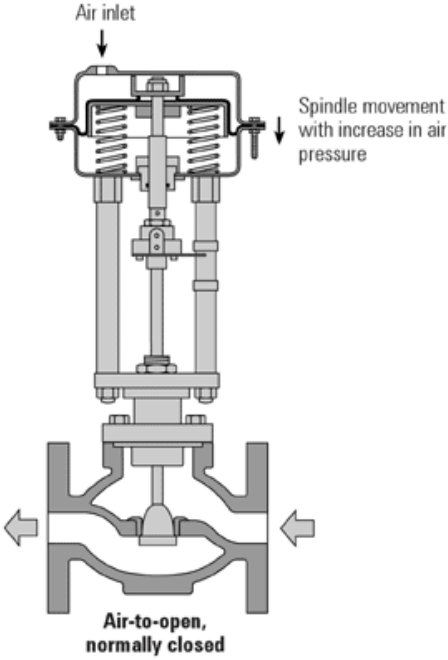
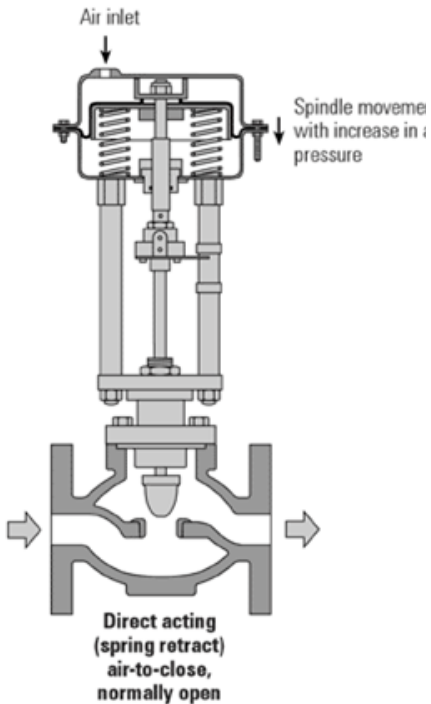
Tipos de válvulas



Directo



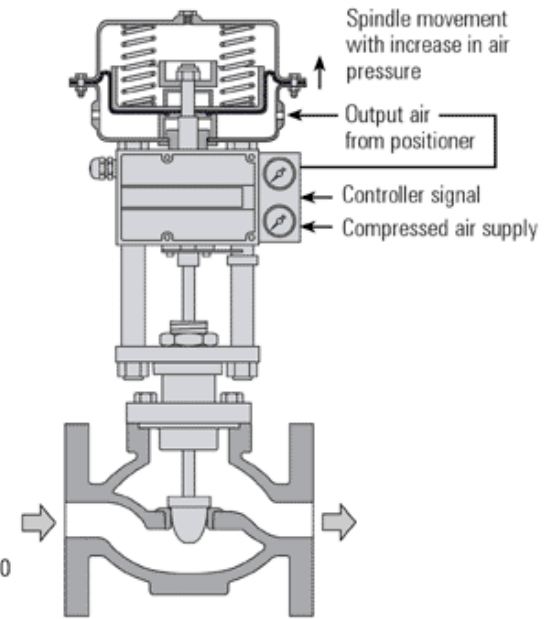
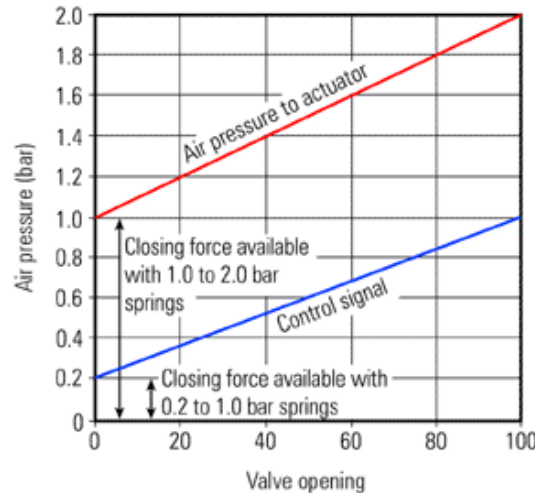
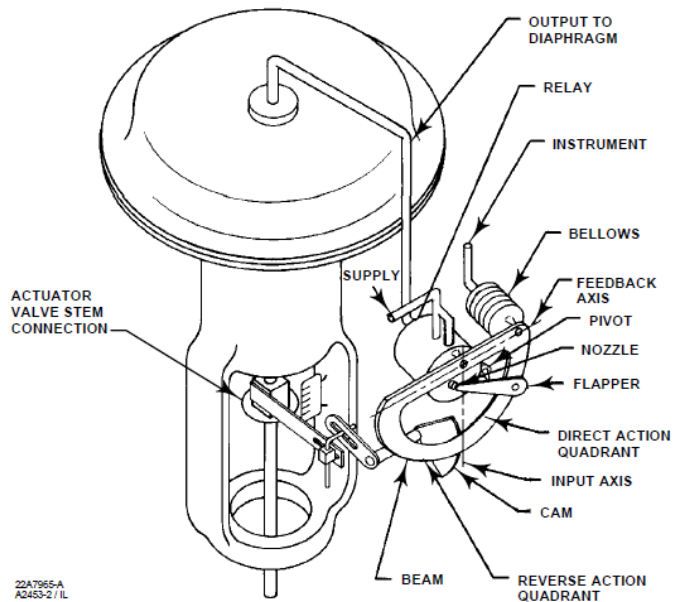
Inverso



Two port valves				
Actuator action	Direct	Reverse	Reverse	Direct
Valve action	Direct	Reverse	Direct	Reverse
On air failure	Valve opens		Valve closes	



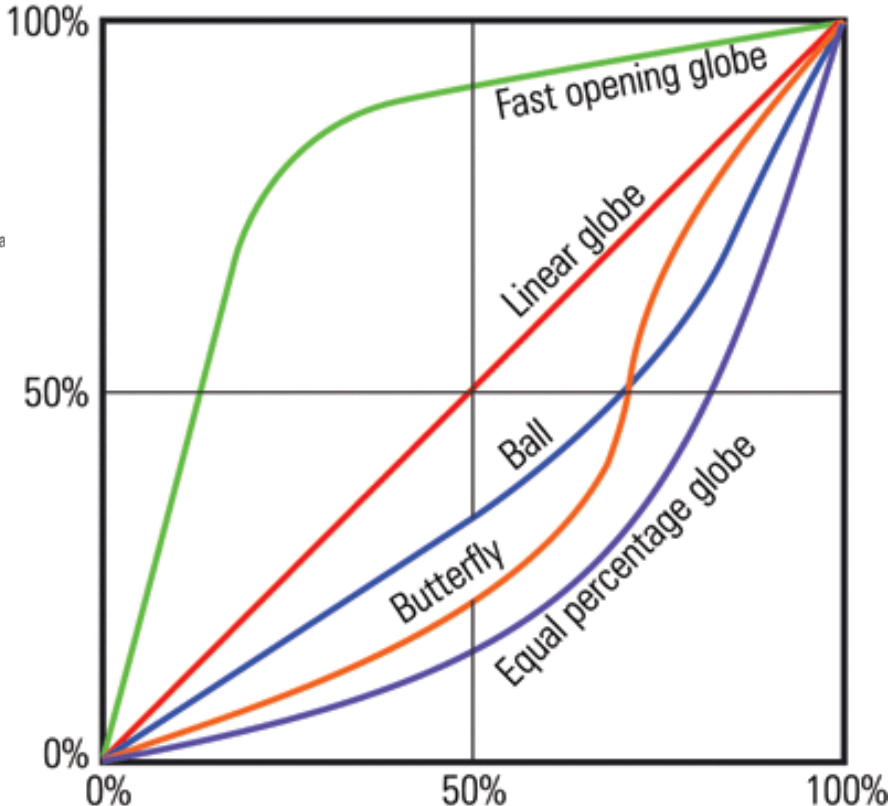
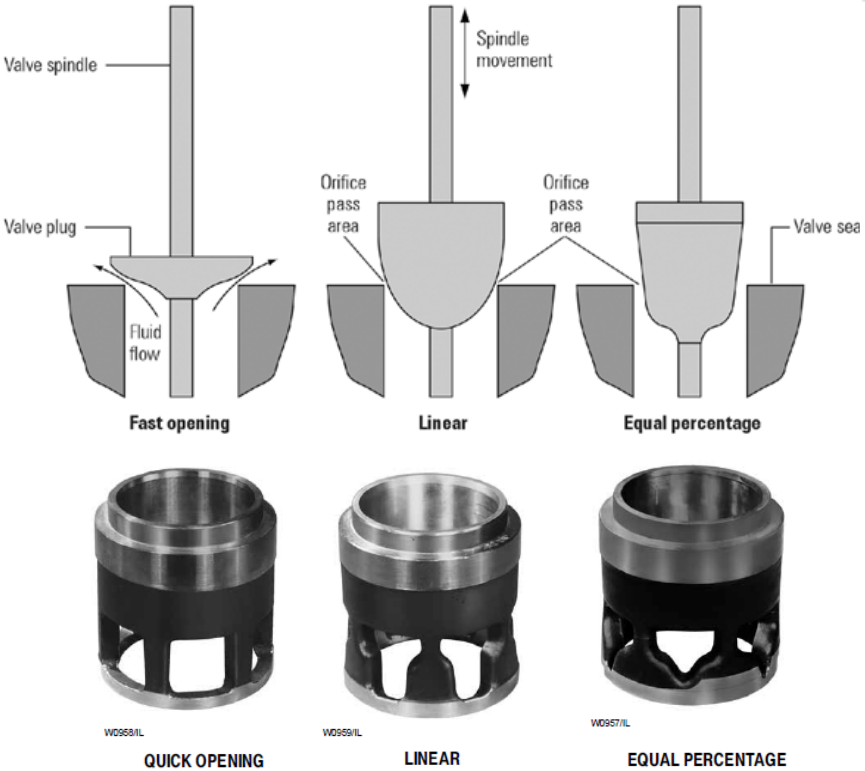
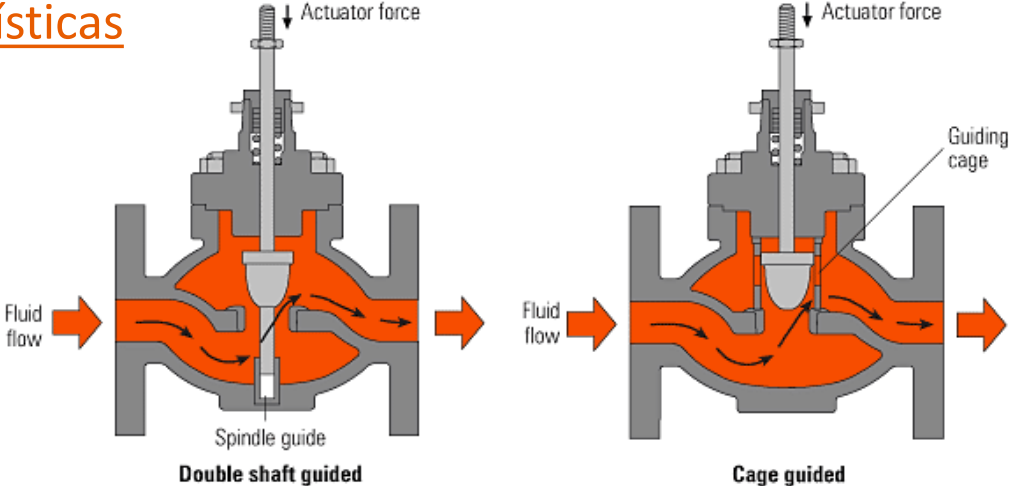
## Tipos de válvulas (accesorios)



- Protección contra modificaciones (el acceso local no está permitido)
- Corriente de entrada fuera del rango de operación – Utilización como amplificador
- El sensor de posición de entrada reconoce el error
  - Fallo de conexión del convertidor IP a la placa electrónica
  - Error en el suministro de aire
  - Autostart defectuoso
  - Error en la placa de opciones
  - Desviación en el control permanente (e.g., válvula bloqueada)
  - Límite de configuración para la apertura y cierre ha sido alcanzado
- Mantenimiento requerido



Curvas características



## Selección

### Determinar las condiciones de operación del proceso

Propiedades en la alimentación como presión, caudal, temperatura, máxima pérdida de carga.  
Elegir el cuerpo de la válvula y actuador adecuado a las condiciones de presión.

### Calcular el coeficiente $C_v$ requerido

Comprobar que no existirá ruido, cavitación o flashing.

### Elección del tipo de obturador

Si no hay peligro de cavitación o flashing, elegir uno estándar, de lo contrario, habrá que emplear equipo especial

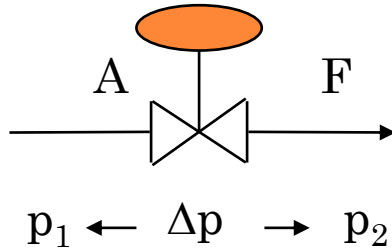
### Elección del cuerpo de la válvula y el tamaño del obturador

Las casas comerciales tienen tablas disponibles con los  $C_v$  para las distintas combinaciones. En este punto es cuando ha de seleccionarse la acción directa o inversa y el modo de seguridad.

### Elección de los materiales

Considerar la resistencia química, térmica y mecánica necesaria en función de la aplicación.

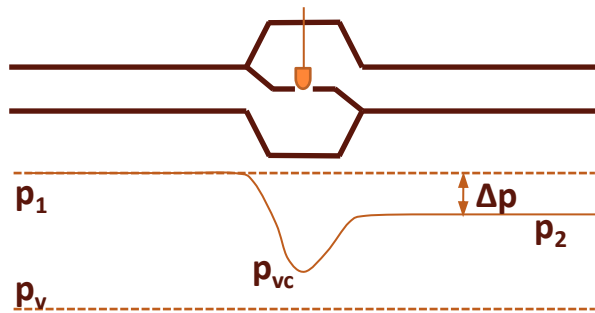
## Dimensionado



$$\Delta p = \frac{1}{A^2 C_v^2} F^2 \rho$$

$\Delta p$  Pérdida de carga  
 $F$  Caudal  
 $A$  Fracción de apertura ( $F/F_{\max}$ )  
 $C_v$  Coeficiente  
 $\rho$  Densidad

$$F = C_v \cdot A \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$



$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_{vc}}{\rho} + \frac{V_{vc}^2}{2}$$

Como  $V_1 = V_{vc} \cdot \frac{A_{vc}}{A_1}$  y  $F = V_{vc} \cdot A_{vc} \therefore$

$vc =$  vena contracta  
 $1 =$  aguas arriba

$$F = \sqrt{\frac{2}{1 - \frac{A_{vc}}{A_1}}} \cdot \sqrt{\frac{P_1 - P_{vc}}{\rho}}$$

Si consideramos que:  $f_1 = \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_{vc}}}$

entonces:  $F = \frac{1}{f_1} \cdot \sqrt{\frac{2}{1 - \frac{A_{vc}}{A_1}}} \cdot \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{\rho}}$  donde:  $\frac{1}{f_1} \cdot \sqrt{\frac{2}{1 - \frac{A_{vc}}{A_1}}} = A \cdot C_v$

En gases se tiene que  $\rho$  puede no ser constante, por lo que se incluye un factor de expansión adiabático:

$$Y = 1 - 0,333 \cdot \left( \frac{x}{F_R \cdot x_T} \right) \therefore x = \frac{\Delta p}{p_1} \therefore F_R = \frac{C_p / C_v}{1,4} \therefore x_T \text{ depende del tipo de válvula (0.75 - válvula de globo)}$$

$Y = 0,667$  - Flujo sónico

$$F = Y \cdot A \cdot C_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

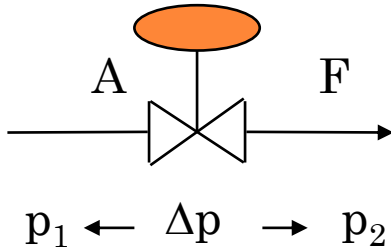
## Dimensionado

LÍQUIDOS			
<p>Si <math>\Delta p_v \geq \Delta p_m</math>, utilizar <math>\Delta p_m</math> en lugar de <math>\Delta p_v</math></p> $\Delta p_m = K_m \cdot \left[ p_1 - \left( 0,96 - 0,28 \cdot \sqrt{\frac{p_v}{p_c}} \right) \cdot p_v \right]$ $K_m = C_f^2 = K_l^2$			
		Unidades sistema imperial	Unidades sistema internacional
$CC = \frac{F}{n_1 \cdot \sqrt{\Delta p_v / \gamma_L}} \quad \text{(Volumétrico)}$	CC	$C_v$	$K_v$
	F	Gpm	$m^3/h$
$CC = \frac{W}{n_2 \cdot \sqrt{\Delta p_v \cdot \rho}} \quad \text{(Másico)}$	W	Lb/h	kg/min
	$\Delta p_v$	Psi	bar
	$\rho$	Lb/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
	$n_1$	1	1
	$n_2$	63,2	0,53
$\gamma_L = \text{peso específico relativo al agua a } 15^\circ\text{C}$			
GASES Y VAPORES			
<p>Si <math>x \geq F_k \cdot x_T</math>, utilizar <math>x_T</math> en lugar de <math>x</math></p> $F_k = \frac{k}{1,14} \therefore Y = 1 - \frac{x}{(3 \cdot F_k \cdot x_T)}$			
		Unidades sistema imperial	Unidades sistema internacional
$CC = \frac{F}{n_3 \cdot p_1 \cdot Y \cdot \sqrt{\frac{x}{(M \cdot T_1 \cdot Z)}}} \quad \text{(Volumétrico)}$	CC	$C_v$	$K_v$
	F	Gpm	$m^3/h$
$CC = \frac{W}{n_4 \cdot p_1 \cdot Y \cdot \sqrt{\frac{(x \cdot M)}{(T_1 \cdot Z)}}} \quad \text{(Másico)}$	W	Lb/h	kg/min
	$P_1$	psi	Bar (abs)
	$T_1$	$^{\circ}R$	K
	$\rho_1$	Lb/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
$CC = \frac{W}{n_5 \cdot Y \cdot \sqrt{x \cdot p_1 \cdot \rho_1}} \quad \text{(Másico)}$	$n_3$	7,320	2,621
	$n_4$	19,3	1,85
	$n_5$	63,3	0,53

M= Masa molecular

Z = Factor de compresibilidad

## Dimensionado – Cavitación y Flashing

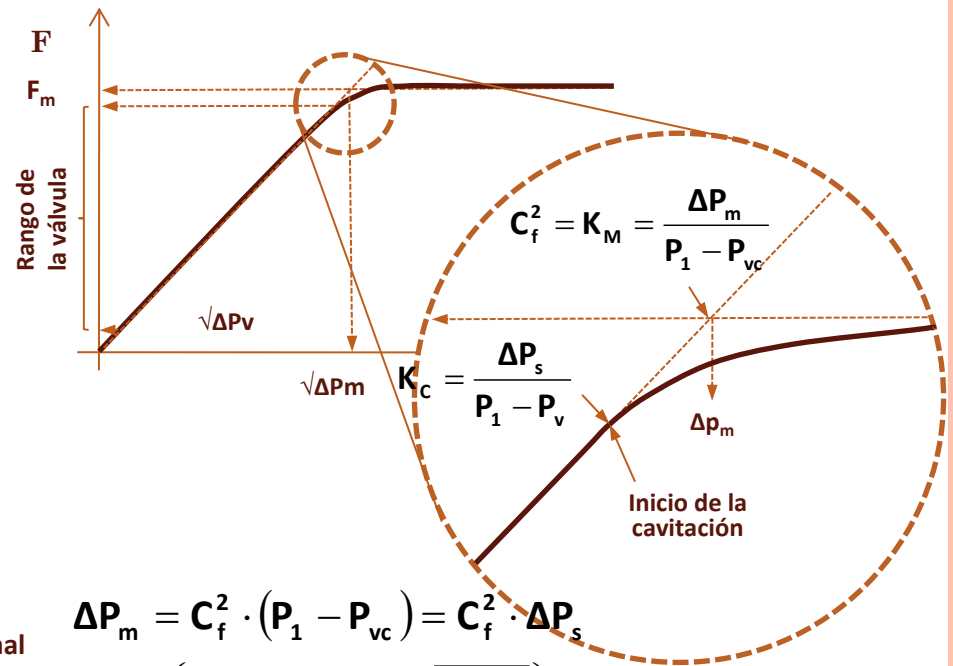
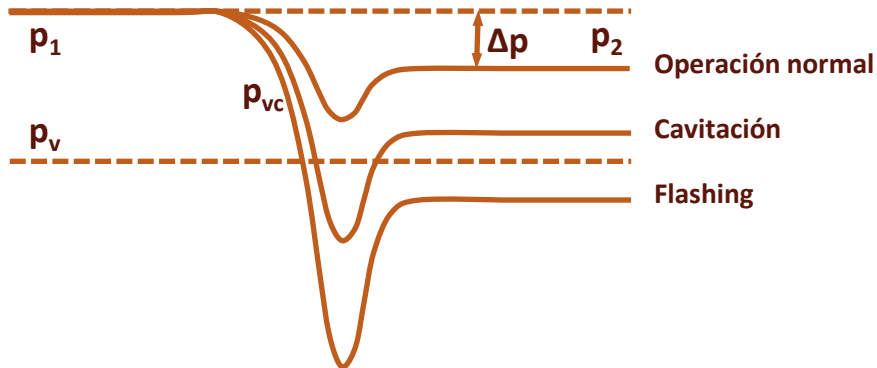
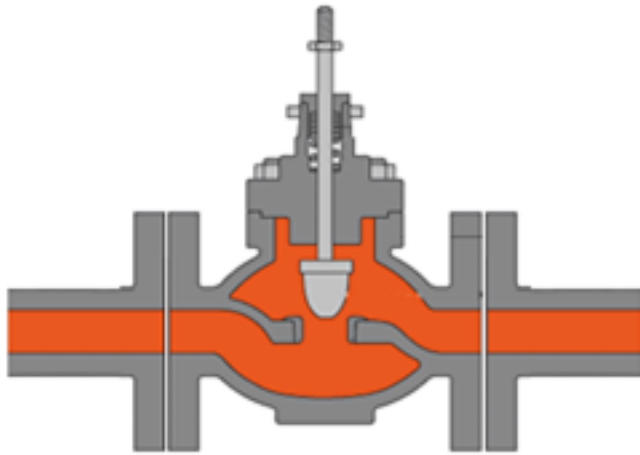


Líquidos :  $W = 27,3 \cdot C_v \cdot \sqrt{\rho \cdot \Delta p}$

Gases :  $W = 94,8 \cdot C_v \cdot p_1 \cdot Y \cdot \sqrt{\frac{x \cdot M}{T_1 \cdot Fr}}$

W Caudal másico en kg/h  
 p Presión en bar absoluto  
 ρ Densidad como kg/m<sup>3</sup>  
 T Temperatura en K  
 M Masa molecular

Rangeability (R) =  $\frac{\text{Máximo caudal controlable}}{\text{Mínimo caudal controlable}} \approx 20 - 50$



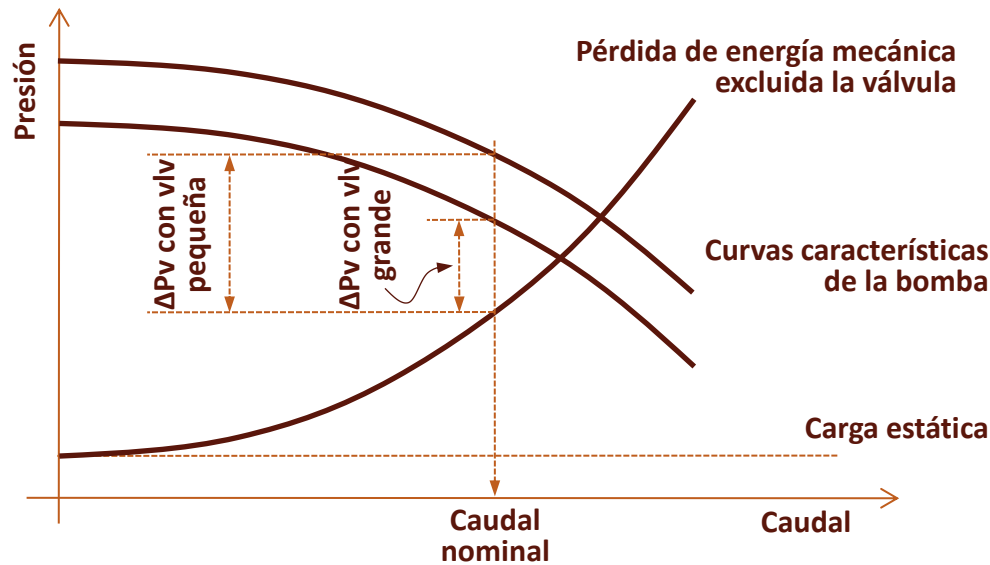
$$\Delta P_m = C_f^2 \cdot (P_1 - P_{vc}) = C_f^2 \cdot \Delta P_s$$

$$P_{vc} = \left( 0,96 - 0,28 \cdot \sqrt{\frac{p_v}{p_c}} \right) \cdot p_v$$

Si  $\Delta P_v < \Delta P_m$  - No hay cavitación ni flashing

Si  $\Delta P_v > \Delta P_m$  - Cavitación o flashing

## Dimensionado – Criterios



Reglas generales de dimensionado para determinar la caída de presión de la válvula:

1 – Para caudal máximo o de diseño: Mínimo 15% de la caída de presión dinámica total

2 – Para caudal normal: Mínimo 33% de la caída de presión dinámica total

3 – Dependiendo de la presión aguas abajo:

$P_{\text{aguas abajo}} < 13,8 \text{ barg}$        $\Delta p_v = 10\% \text{ de } P_{\text{aguas abajo}}$

$P_{\text{aguas abajo}} = 13,8 - 27,6 \text{ barg}$        $\Delta p_v = 20 \text{ psi ó } 1,4 \text{ bar}$

$P_{\text{aguas abajo}} > 13,8 \text{ barg}$        $\Delta p_v = 5\% \text{ de } P_{\text{aguas abajo}}$

4 – Caída de presión mínima:

Líquidos: 0,7 bar

Gases: 0,3 bar

**Se utiliza el criterio que proponga una mayor caída de presión**

Bibliografía

Título Manual del Ingeniero Químico. Vol. II  
Autor R.H. Perry, D.W. Green  
Editorial McGraw-Hill, ISBN: 84-481-3008-1. 2001.

Título Control e instrumentación de procesos químicos  
Autor P. Ollero de Castro, E. Fernández Camacho  
Editorial Síntesis, ISBN: 84-7738-517-3. 1997.

Título Instrumentación industrial  
Autor A. Creus Solé  
Editorial Marcombo, ISBN: 978-8-42671-361-2. 2005