



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

# VÁLVULAS DE CONTROL

## Parte 1

Universidad Nacional de Tucumán

Fundada el 25 de mayo de 1914



## Válvulas de control

---

**Son órganos que realizan la función de regular el caudal de un fluido que se comanda a distancia por medio de una señal neumática o eléctrica sobre un servoactuador que la posiciona acorde a la orden de un controlador.**

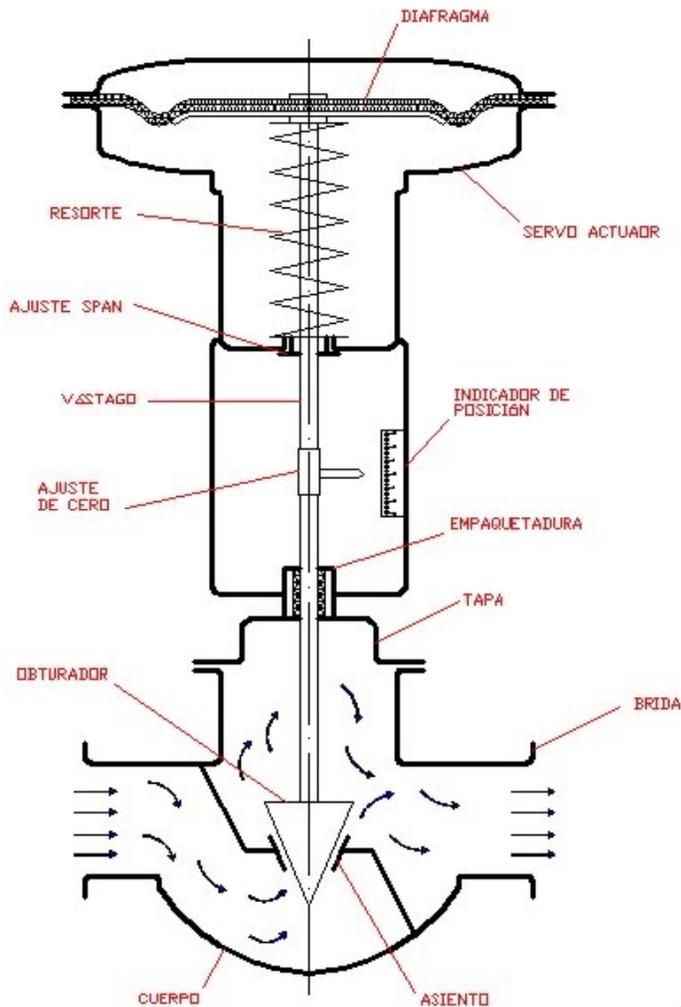


**Las válvulas son las encargadas de regular el caudal del fluido de control que modifica el valor de la variable medida y por tanto de la variable controlada.**

**Las válvulas son los principales elementos finales de control.**

**Las válvulas se comportan como un orificio de área variable.**

# Principales elementos de una válvula de control



## CUERPO:

Es el alojamiento de las partes internas que están en contacto con el fluido. Deben ser:

- Material adecuado (resistente a altas temperaturas y presiones).
- Tamaño adecuado (según el caudal).
- Resistente a la corrosión.

## TAPA:

Permite la unión del cuerpo con el servo actuador y a su través se desliza el vástago del obturador.

## SERVOACTUADOR:

Es el dispositivo que mueve el vástago. Puede ser neumático, hidráulico, eléctrico o electromecánico. Generalmente es neumático por ser simple, de acción rápida y tener gran capacidad de esfuerzo.

## EMPAQUETADURA:

Permite sellar fugas de fluido entre el vástago y la tapa. Normalmente suele ser de aros de teflón, de sección V y comprimidos por resortes.

## Obturador y asiento:

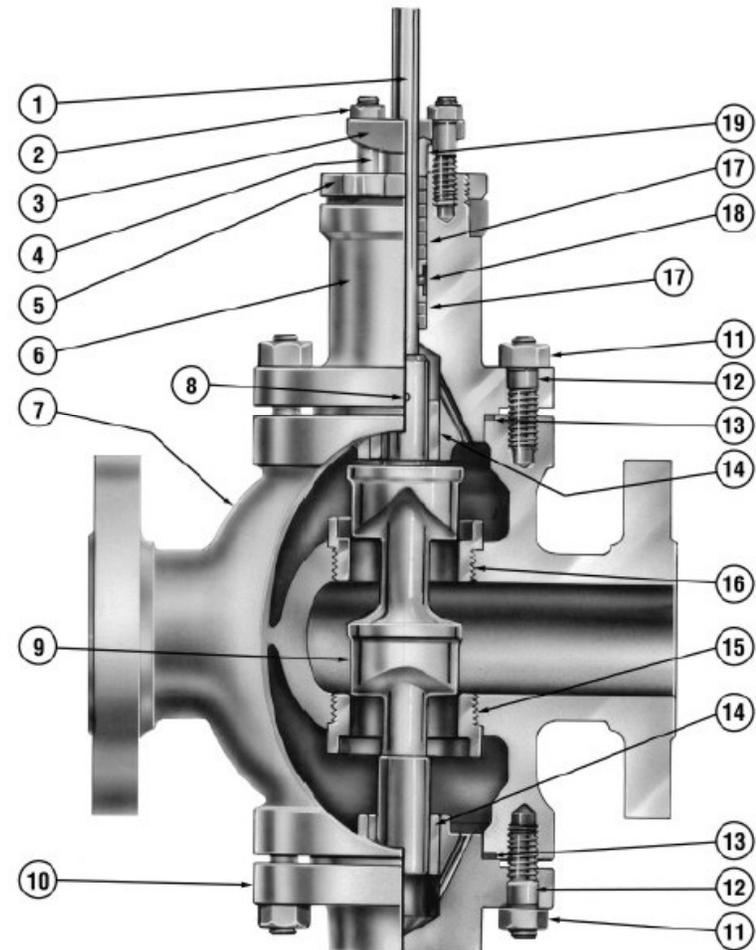
Son los elementos que restringen el paso del fluido y caracterizan la válvula de control.

# Partes internas de una válvula de control

Generalmente se las considera a las piezas metálicas desmontables que están en contacto directo con el fluido.

Las más importantes:

- Vástago (1)
- Empaquetadura (17)
- Anillos guías del vástago (14)
- Obturador (9) y asiento (15 y 16)

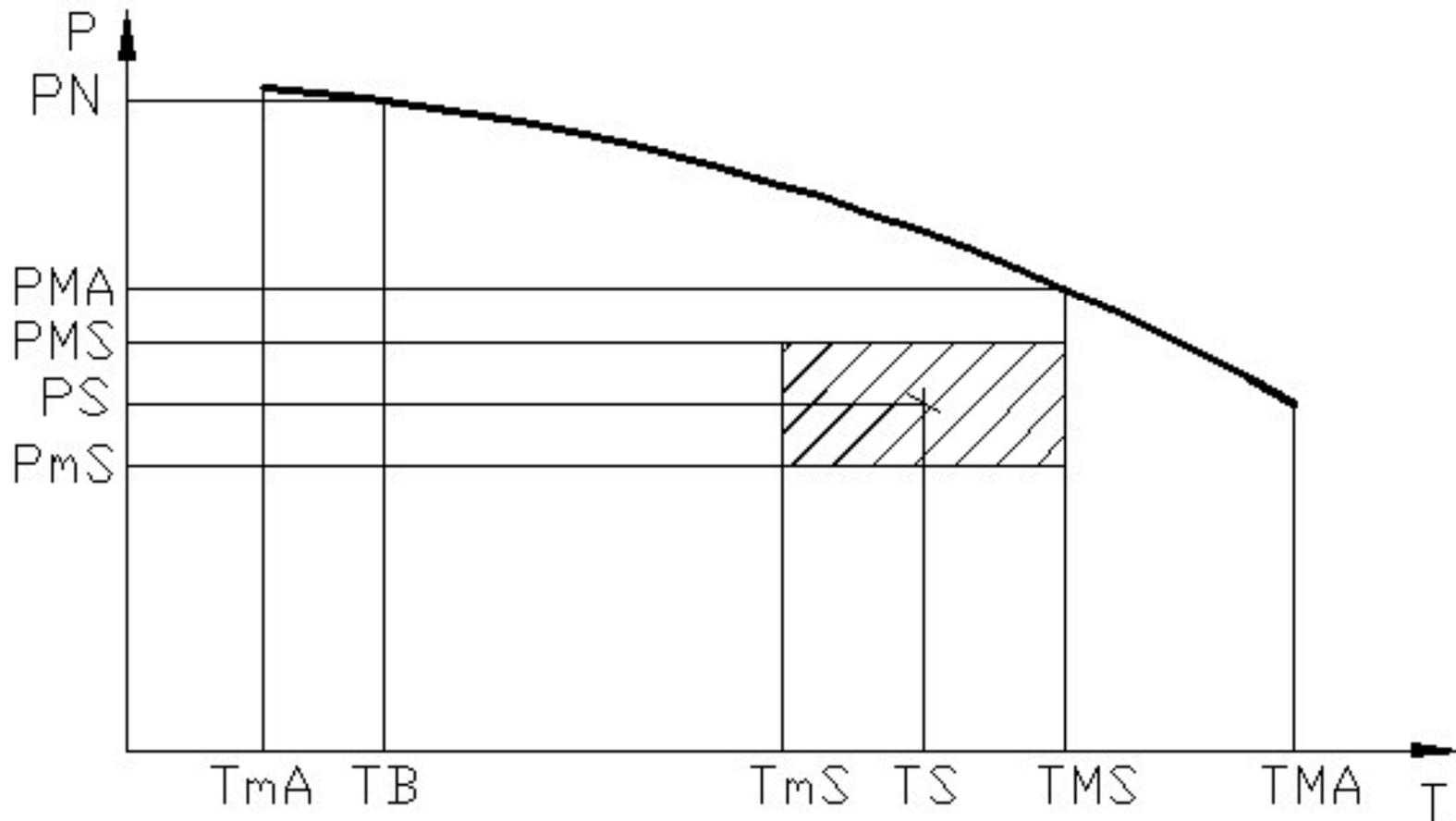


# Definiciones

---

- **Presión nominal (PN).** Es la presión que ha servido de base para la determinación de las dimensiones de la válvula a una temperatura base determinada.
- **Presión máxima admisible (PMA).** Es la presión máxima que de forma permanente puede soportar la válvula a una temperatura determinada.
- **Presión máxima de servicio (PMS).** Es la presión máxima a la que puede someterse una válvula en una instalación determinada.
- **Presión de servicio (PS).** Es la presión normal de trabajo de la válvula seleccionada.
- **Temperatura mínima admisible (TmA).** Es la menor temperatura a la que puede estar sometida una válvula en una instalación determinada.
- **Temperatura máxima admisible (TMA).** Es la mayor temperatura a la que puede estar sometida una válvula en una instalación determinada.
- **Temperatura base (TB).** Es la temperatura considerada para determinar las dimensiones de la válvula.
- **Temperatura mínima de servicio (TmS).** Es la temperatura mínima del rango de trabajo del flujo que se regula en la instalación.
- **Temperatura máxima de servicio (TMS).** Es la temperatura máxima del rango de trabajo del flujo que se regula en la instalación.
- **NORMAS AMERICANAS (ANSI).** En estas normas el concepto de presión nominal es sustituido por el de serie: S150, S300, S400, S600, S900, S1500, S2500.

# Condición ideal de trabajo de las válvulas de regulación.



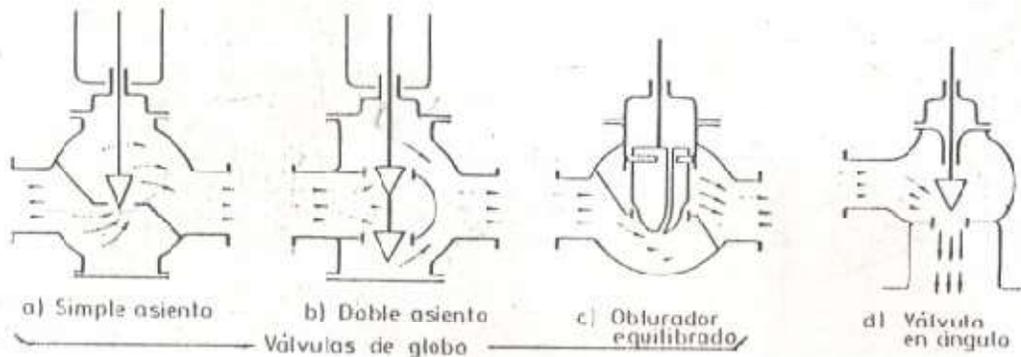
# Las válvulas y su función

El tipo de válvula dependerá de la función que debe efectuar la misma:

- Función de cierre o bloqueo.
- Impedir el flujo inverso (válvula de retención).
- Función de desahogo de la presión de línea (válvula de alivio).
- Función de estrangulación y/o regulación (válvula de control).

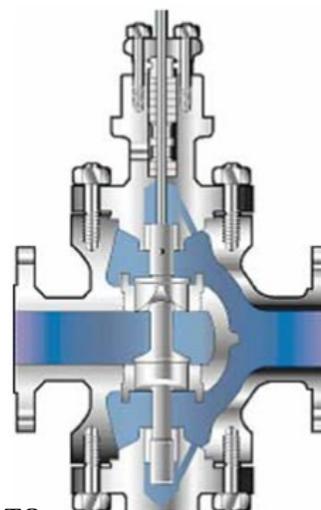
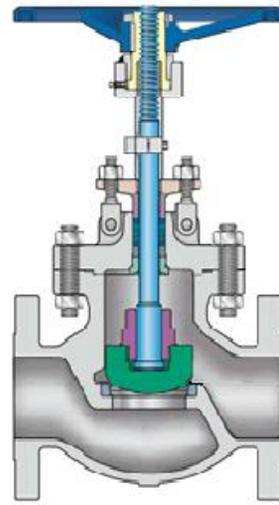


# Tipos de válvulas



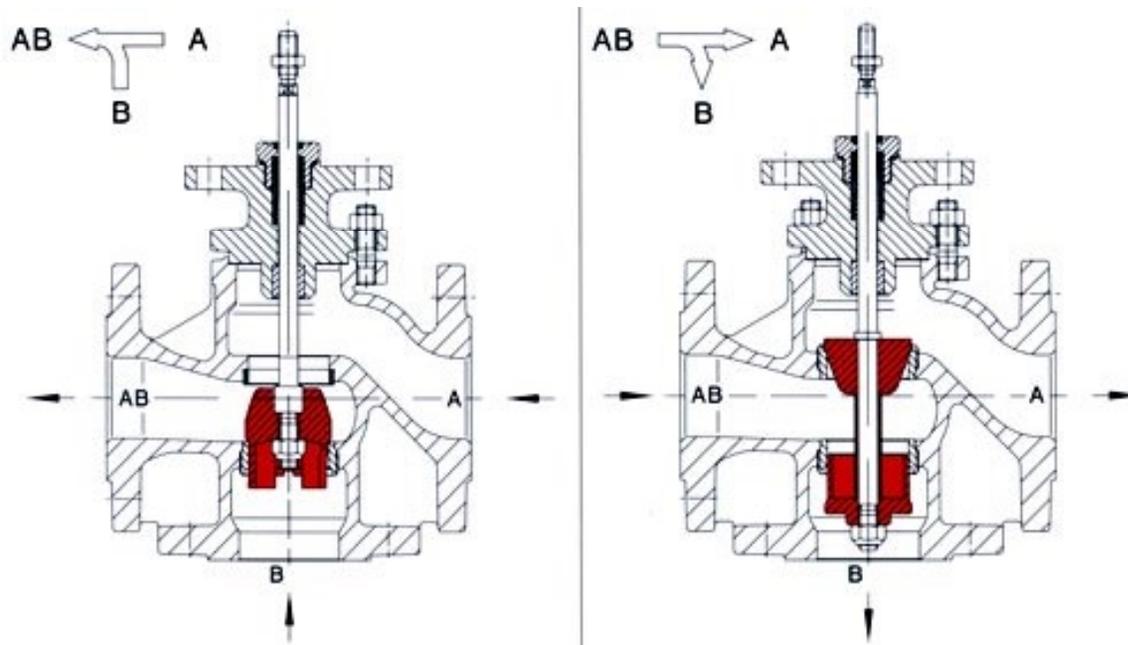
Válvula globo (a, b y c): se emplean cuando la presión diferencial del proceso es baja y con fugas en posición de cierre mínimas.

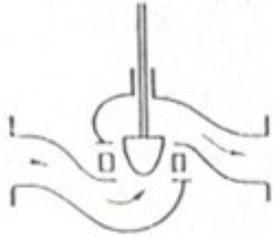
Válvula en ángulo (d): se emplean para disminuir la erosión cuando esta es considerable por las características del fluido. Aptas para altas presiones diferenciales.



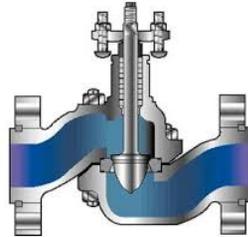
# Tipos de válvulas

Válvula de tres vías (e y f): se usan para mezclar fluidos (e) o para dividir flujos (f).

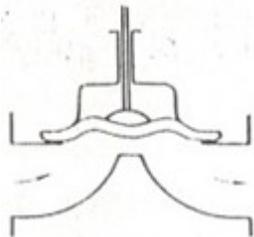




i) Válvula de cuerpo partido



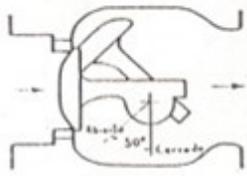
**Válvula de cuerpo partido (i):** se emplean en flujos viscosos, facilitando un flujo suave del fluido sin espacios muertos en el cuerpo. Permiten un fácil cambio del asiento.



j) Válvula Saunders



**Válvula Saunders (j):** usada en casos de flujos agresivos con sólidos en suspensión, de cierre hermético y construcción simple. Posee buena característica de regulación hasta el 50% de apertura.



k) Válvula de obturador excéntrico rotativo (Camflex)



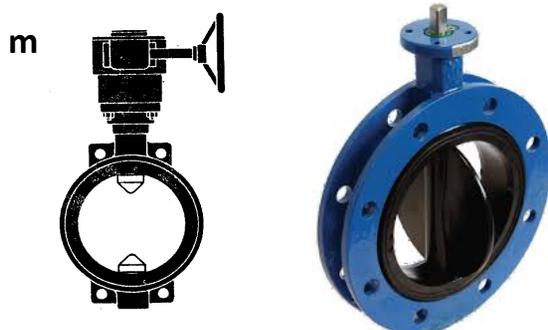
**Válvula Camflex (k):** de obturador excéntrico rotativo, poseen gran capacidad de caudal y de acción rápida. Posee elevada pérdida de carga. Una de las primeras válvulas de control “Universal”.



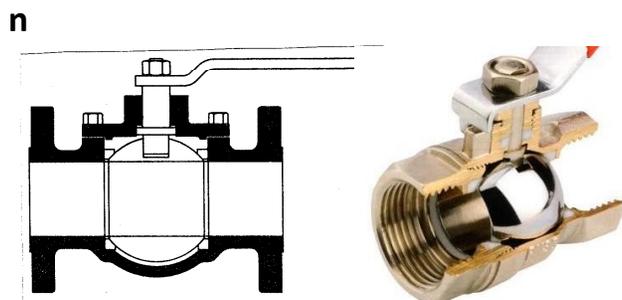
l) Válvula de obturador cilíndrico excéntrico



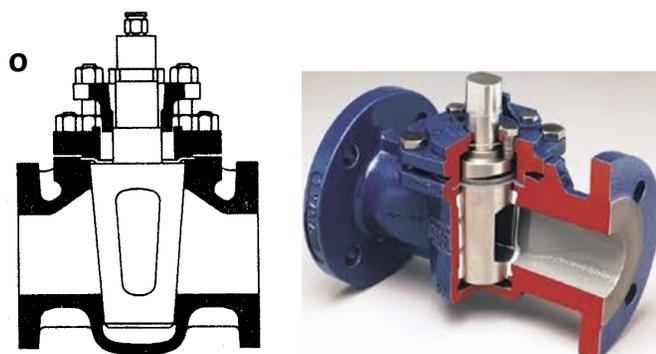
**Válvula excéntrica (l):** de obturador cilíndrico excéntrico que asienta sobre un cuerpo cilíndrico. Posee alta hermeticidad, es de bajo costo y alta capacidad. Aplicadas en flujos corrosivos y viscosos con sólidos en suspensión.



**Válvula mariposa (m):** se emplean para el control de grandes flujos de fluidos a baja presión. Posee buen cierre hermético con recubrimientos especiales sobre el asiento. Aplicaciones de servicio general, líquidos, gases, pastas semilíquidas, líquidos con sólidos en suspensión. Ligera de peso, compacta y bajo costo. De poco mantenimiento, número mínimo de piezas móviles. De alta capacidad y circulación en línea recta. Se limpia por si sola.



**Válvula de bola o esférica (n):** de  $\frac{1}{4}$  de vuelta, con bola taladrada y giro entre asientos elásticos. Permite una circulación directa en posición abierta. Recomendada para servicio de conducción y corte, sin estrangulación. De apertura rápida, para temperaturas moderadas y de resistencia mínima a la circulación. Aplicación en servicio general, altas temperaturas, pastas semilíquidas con sólidos en suspensión.

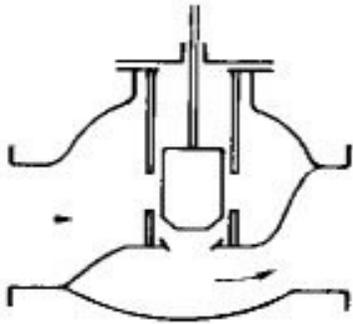


**Válvula de macho (o):** es de  $\frac{1}{4}$  de vuelta, controla la circulación por medio de un macho cilíndrico o cónico con agujero en el centro. Aplicada en servicio general, flujos corrosivos, líquidos, vapores y gases. Poseen alta capacidad, bajo costo, cierre hermético y funcionamiento rápido.

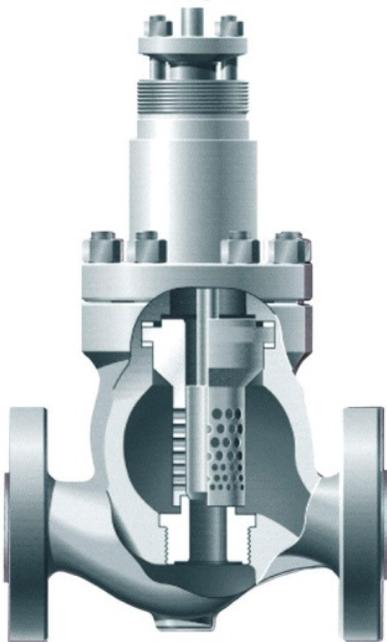
**Válvula de compuerta:** es de vueltas múltiples, en la cual se cierra el orificio con una compuerta vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento.



# Tipos de válvulas



g) Válvula de jaula

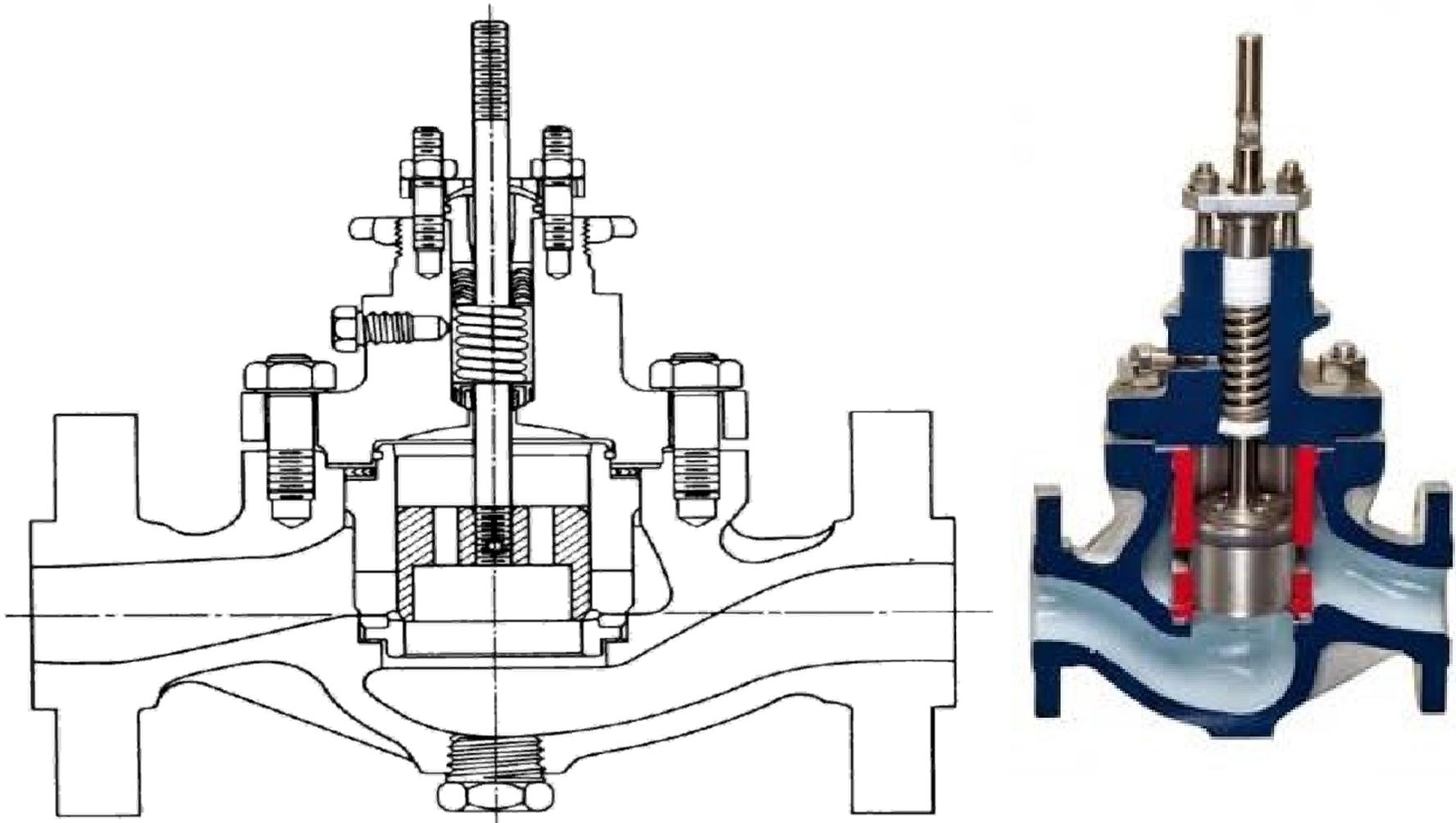


**Válvula de jaula (g):** Consiste en un obturador cilíndrico que desliza en una jaula con orificios adecuados a las características de caudal deseadas en la válvula. Se caracterizan por el fácil desmontaje del obturador y porque este puede incorporar orificios que permiten eliminar prácticamente el desequilibrio de fuerzas producido por la presión diferencial favoreciendo la estabilidad y el funcionamiento. Por este motivo, este tipo de obturador equilibrado se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. Como el obturador está contenido dentro de la jaula, la válvula es muy resistente a las vibraciones o al desgaste. Por otro lado, el obturador puede disponer de aros de "resina anti-adherente" ó "fluoropolímero" que, con la válvula en posición cerrada, asientan contra la jaula y permiten así un cierre hermético.

El uso de estas válvulas es la tendencia actual. Se las encuentra para presiones en la norma ANSI clases de 125 a 2500.

- Gama usual de tamaños entre 0,5 y 16".
- Se las puede encontrar Criogénicas hasta -500°F.
- Con caídas de presión de hasta 4000 PSI.
- Costo de mantenimiento bajo.
- Aplicaciones de control de caudal con alta caída de presiones.
- Se suelen tomar como referencia para las capacidades de flujo dentro de un tamaño de 3", parámetro en la que solo es superada por la de doble guía.

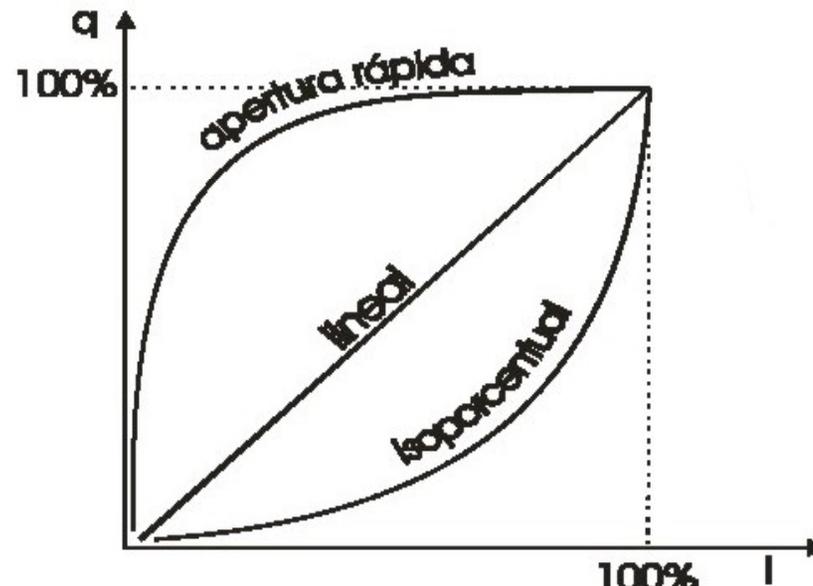
## Detalle de una válvulas globo con guía de jaula





# Característica de caudal inherente de una válvula de control

Se denomina característica inherente de la válvula, a la relación entre el caudal que pasa a través de ella ( $q$ ) y la carrera del vástago ( $l$ ), manteniendo constante la diferencia de presión entre la entrada y la salida de la misma.



En la práctica encontramos tres curvas fundamentales:

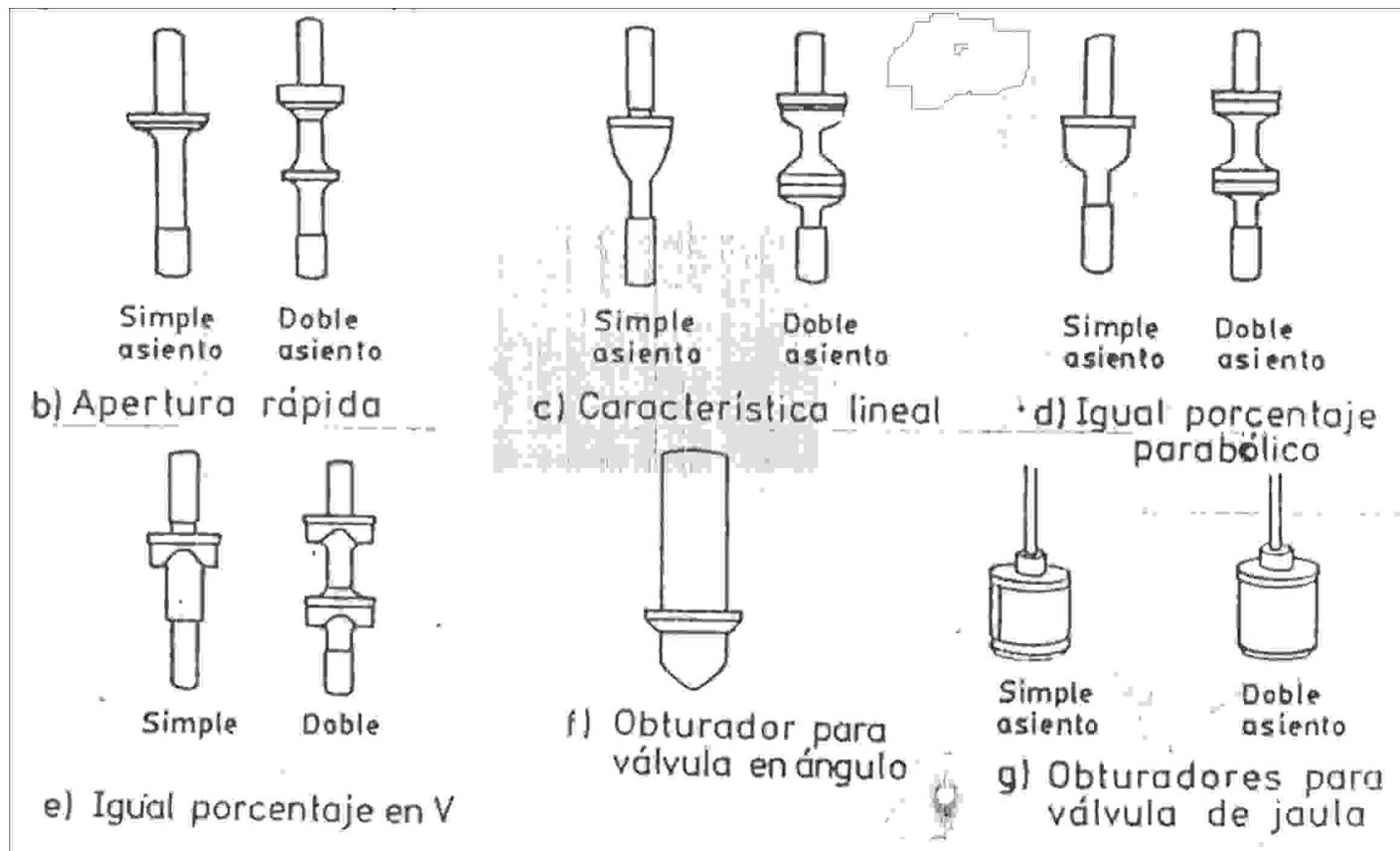
**a- Apertura rápida:** al iniciarse la apertura, con poco avance del vástago, deja pasar gran caudal.

**b- Lineal:** el caudal es proporcional al grado de apertura de la válvula.

**c- Igual porcentaje:** para pequeños incrementos sucesivos e iguales del grado de apertura, produce un cambio en el caudal que es proporcional al caudal que fluía antes de la variación.

# Tipos de obturadores para las diferentes características

La curva característica de la válvula, se obtiene mecanizando el obturador para que al variar la carrera del vástago, el orificio de paso variable existente entre el contorno del obturador y el asiento, configure una característica deseada.



## Característica inherente en una válvula de jaula

---



**Apertura  
Rápida**



**Lineal**

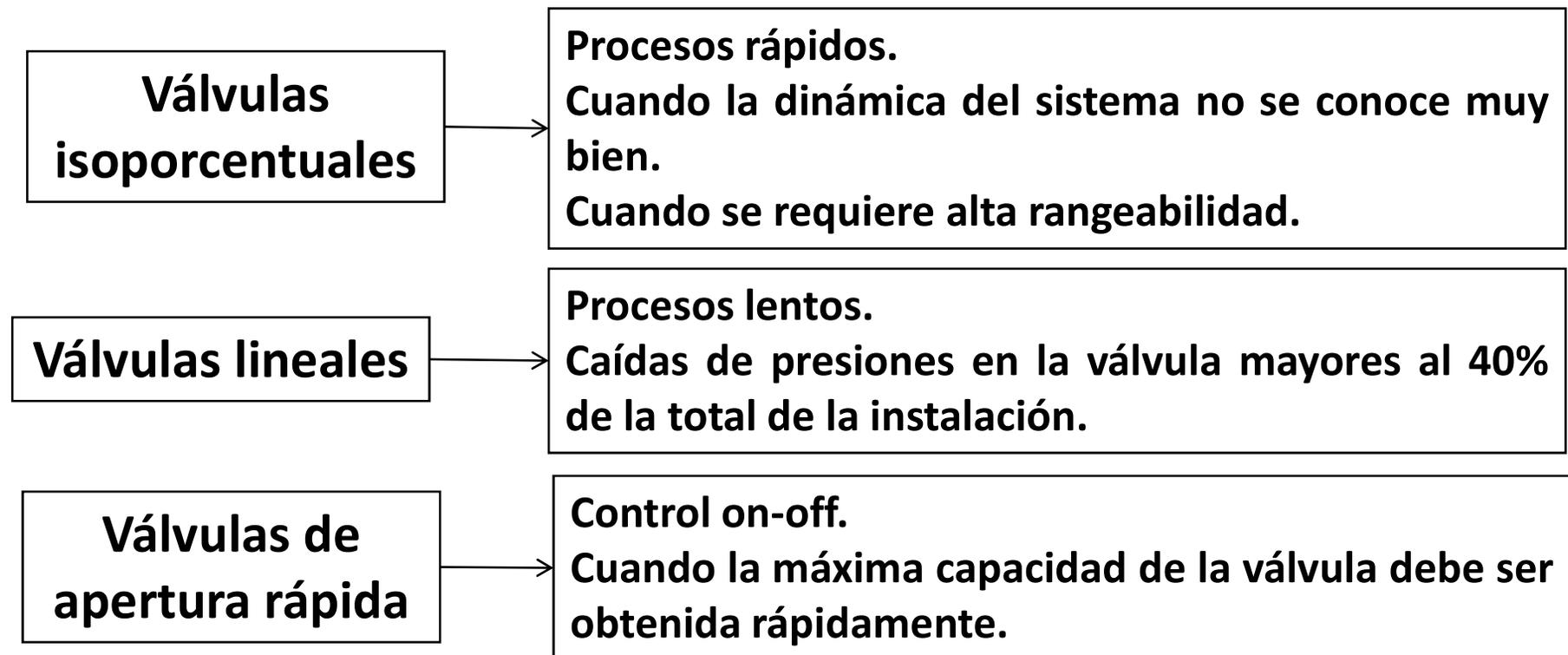


**Porcentaje  
igual**

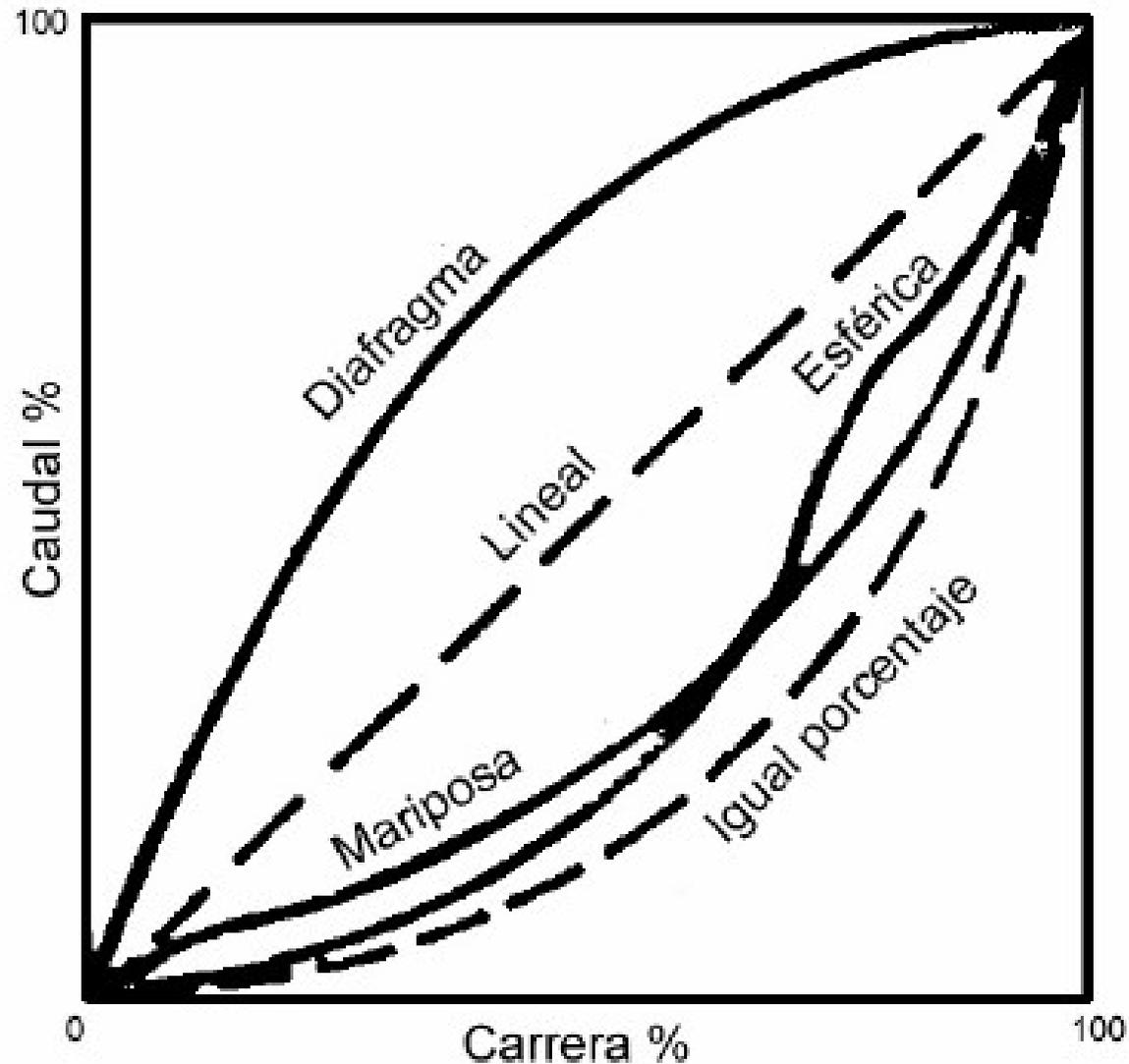
33

## Uso general de las válvulas de control según las condiciones inherentes

---



# Características de caudal inherentes de válvulas de control no caracterizadas.



## Coeficiente de flujo (Cv)

---

El coeficiente Cv es un parámetro de la capacidad de las válvulas. El Cv es utilizado en el dimensionado de las mismas.

**Definición:** El Cv es el caudal de agua en [Gal<sub>USA</sub>/min] que pasa a través de la válvula totalmente abierta y con una pérdida de carga de 1 [PSI].

**También se define:** Kv como el caudal de agua (5 a 30 °C) en [m<sup>3</sup>/h] que pasa a través de la válvula totalmente abierta y con una pérdida de carga de 1 [kg/cm<sup>2</sup>].

Equivalencias:

$$Cv = 1,17 Kv [gal_{USA}/min]$$

$$Kv = 0,86 Cv [m^3/h]$$

$$1 [gal_{USA}] = 3,785 [lts]$$

$$1 [PSI] = 1 [lb/plg^2] = 0,069 [bar]$$

## Ecuaciones de las características inherentes



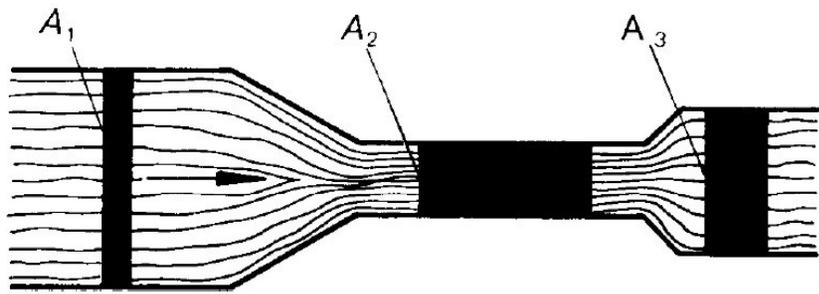
**Característica lineal:** el caudal ( $q$ ) es directamente proporcional a la carrera lineal o rotacional ( $l$ ), según la ecuación:  $q = k \cdot l$

**Característica de igual porcentaje:** produce un cambio en el caudal ( $q$ ) que es proporcional al caudal que fluctúa antes de la variación, según la ecuación:  $dq/dl = a \cdot q$ , integrando:  $q = b \cdot e^{a \cdot l}$  (siendo  $a$  y  $b = \text{cte}$ ).

**Característica de apertura rápida:** el caudal de fluido llega rápidamente al valor máximo con pequeñas carreras. No existe una expresión matemática de aceptación generalizada.

# Fórmula general para el coeficiente de flujo

La válvula se comporta como un orificio que permite la circulación de un cierto caudal con una determinada pérdida de carga.



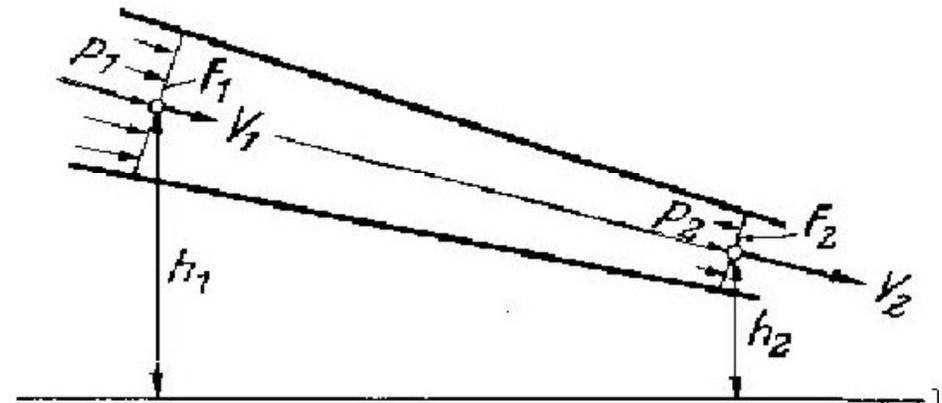
Según la ecuación de la continuidad:

$$\text{Caudal} = Q = A_1 V_1 = A_2 \cdot V_2$$

Como  $A_2 < A_1$  entonces  $V_2 > V_1$

Relación de Diámetros  $\beta = D_2 / D_1$

Relación de Áreas  $\beta^2 = A_2 / A_1$



Según Bernoulli:

$P/\gamma + V^2/2g + h = \text{cte}$ , o bien:

$$P_1/\gamma + V_1^2/2g + h_1 = P_2/\gamma + V_2^2/2g + h_2$$

# Fórmula general para el coeficiente de flujo

$$Q = A_2 \cdot C_o \cdot V_2$$

Donde:  $C_o$  = coeficiente de descarga.

Por continuidad  $V_1 = V_2 \cdot \beta^2$

Y reuniendo por Bernoulli y Continuidad:

$$V_2 = [(2g \cdot (P_1 - P_2) / \gamma)^{1/2}] / (1 - \beta^4)^{1/2}$$

$$V_2 = [2g \cdot (P_1 - P_2) / (\gamma / \gamma_{H_2O})]^{1/2} / [(1 - \beta^4) \cdot \gamma_{H_2O}]^{1/2}$$

Y siendo  $GF = (\gamma / \gamma_{H_2O})$  y  $C = C_o / [(1 - \beta^4) \cdot \gamma_{H_2O}]^{1/2}$

Entonces:  $Q = A_2 \cdot C \cdot (2g \cdot (P_1 - P_2) / GF)^{1/2}$

Si:  $C_v = A_2 \cdot C \cdot (2g)^{1/2}$

Entonces:

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

El coeficiente de flujo  $C_v$ , o su equivalente  $K_v$ , nos sirve para:

- 1- Comparar la capacidad de las válvulas de diferentes fabricantes.
- 2- Conocer la caída de presión en una válvula.
- 3- Conocer la capacidad de una válvula.

## Rangeability (Amplitud de regulación)

---

Es el cociente entre el máximo caudal que una válvula deja pasar por la línea donde se encuentra instalada y el mínimo caudal que dejaría pasar, antes de cerrarse completamente.

$$R = F_{\text{máx}} / F_{\text{mín}} , \text{ o también } R = C_v_{\text{máx}} / C_v_{\text{mín}}$$

Rangeability inherente = caída de presión constante en la válvula.

Rangeability en línea = caída de presión variable en la válvula (en servicio).

El rangeability inherente es un valor suministrado por el fabricante.

Valores normales:

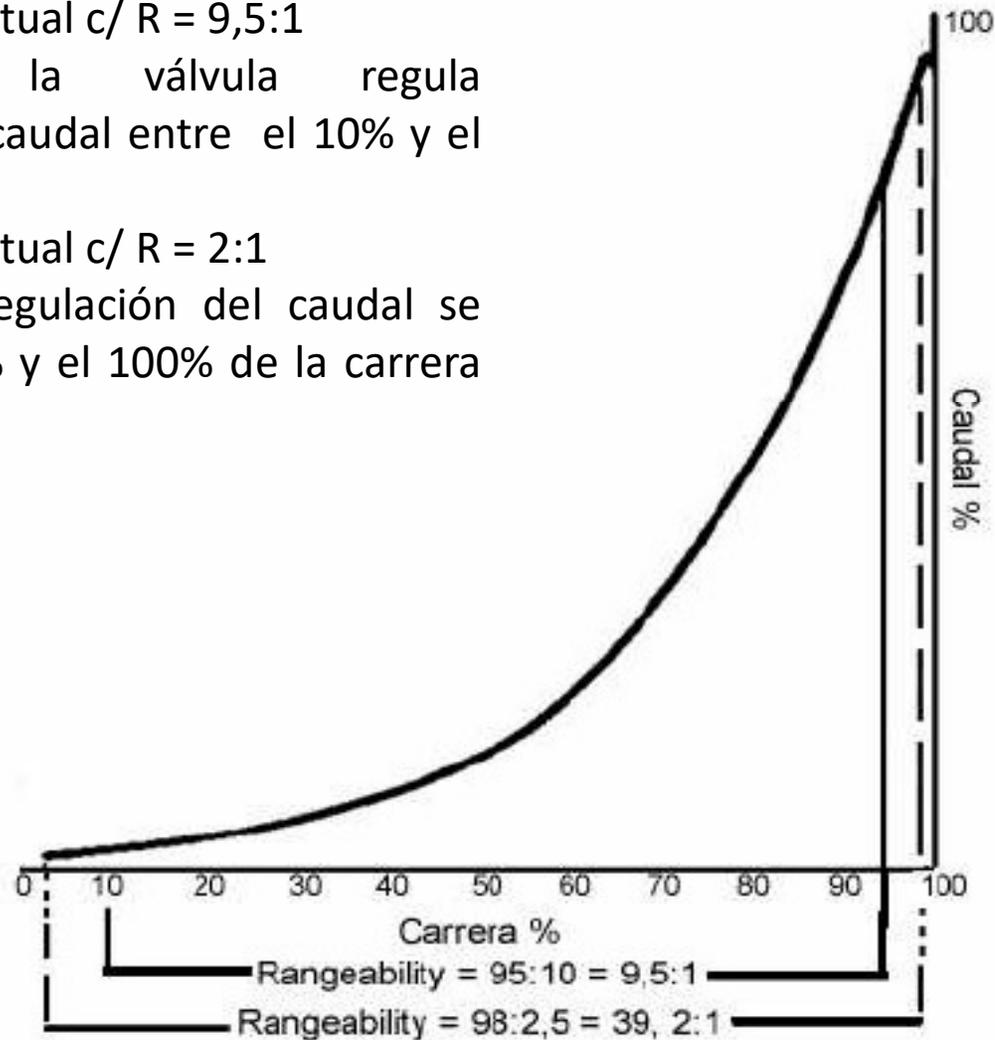
P/ característica lineal  $R = 25$  a  $30$

P/ característica isoporcentual  $R = 50$

La Rangeability “R” de la válvula elegida, debe ser igual o mayor que la del proceso a controlar ( $R_{\text{válvula}} \geq R_{\text{proceso}}$ ).

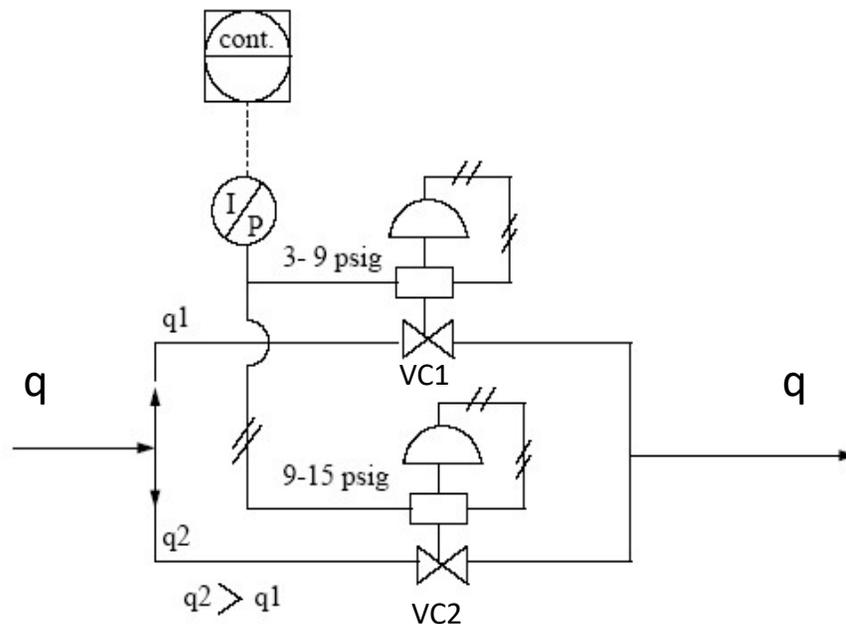
# Ejemplo Rangeability

- Válvula isoporcentual c/  $R = 9,5:1$   
Significa que la válvula regula perfectamente el caudal entre el 10% y el 95% de su carrera .
- Válvula isoporcentual c/  $R = 2:1$   
Significa que la regulación del caudal se realiza entre el 2% y el 100% de la carrera del vástago.



## Válvulas de control en rango partido

A veces los requerimientos de proceso solicitan una relación de caudales mínimos y máximos que exceden los que una sola válvula puede dar. Por ello, se utilizan dos válvulas de control en paralelo que amplían la rangeabilidad del sistema de regulación.



La VC1 se calibra para que haya una carrera completa de la válvula para una acción de control entre 3 a 9 psi y la VC2 debe calibrarse para una carrera completa del vástago para una señal de entrada entre 9 a 15psi.

## Dimensionamiento de Válvulas

Se debe calcular el coeficiente  $C_v$  ( $K_v$ ) para el caudal máximo en las condiciones de servicio. El tipo de válvula lo elegimos de acuerdo a las características del servicio mencionado.

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

Podemos decir que el  $C_v$  es el caudal que circula cuando  $GF$  es unitario (agua), al igual que la caída de presión ( $P_1 - P_2$ ).

A esta expresión se la corrige de diversos modos para el cálculo de la capacidad necesaria de las válvulas en diversos estados de carga y para distintas fases.

## Factores de corrección

---

Se distinguen principalmente dos casos:

$$C_v = \frac{Q}{N1. Fp. \sqrt{\frac{(P1 - P2)}{GF}}} \quad \text{p/ cálculo en volumen}$$

$$C_v = \frac{W}{N6. Fp. \sqrt{\frac{(P1 - P2)}{GF}}} \quad \text{p/ cálculo en masa}$$

$$K_v = (0,865). C_v$$

$C_v$  calcula con caudal en [gpm] y presión en [psia].

$K_v$  calcula con caudal en [m<sup>3</sup>/h] y presión en [bar].

# CONSTANTES “N”

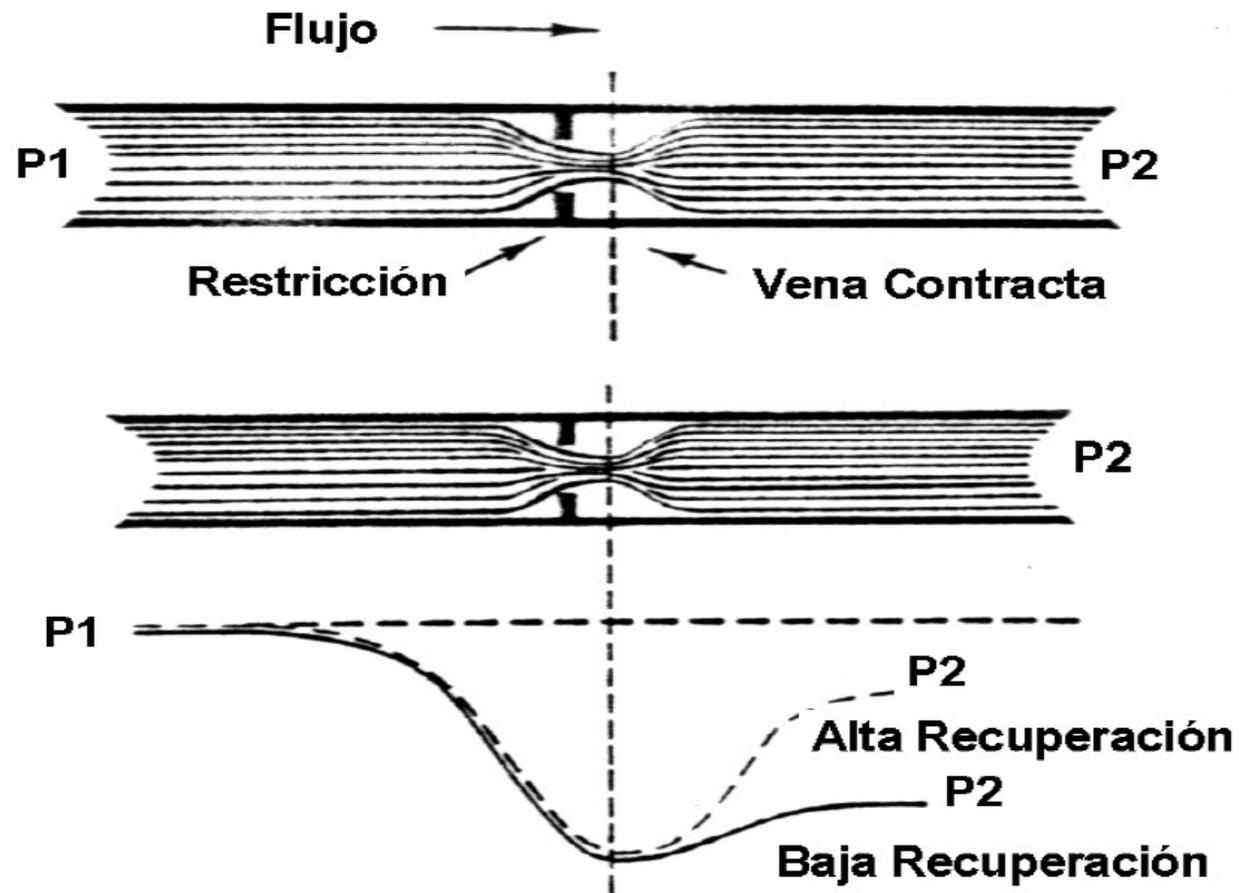
Equation Constants<sup>(1)</sup>

		N	w	q	p <sup>(2)</sup>	γ	T	d, D
N <sub>1</sub>		0.0865	---	m <sup>3</sup> /h	kPa	---	---	---
		0.865	---	m <sup>3</sup> /h	bar	---	---	---
		1.00	---	gpm	psia	---	---	---
N <sub>2</sub>		0.00214	---	---	---	---	---	mm
		890	---	---	---	---	---	inch
N <sub>5</sub>		0.00241	---	---	---	---	---	mm
		1000	---	---	---	---	---	inch
N <sub>6</sub>		2.73	kg/h	---	kPa	kg/m <sup>3</sup>	---	---
		27.3	kg/h	---	bar	kg/m <sup>3</sup>	---	---
		63.3	lb/h	---	psia	lb/ft <sup>3</sup>	---	---
N <sub>7</sub> <sup>(3)</sup>	Normal Conditions T <sub>N</sub> = 0°C	3.94	---	m <sup>3</sup> /h	kPa	---	deg K	---
		394	---	m <sup>3</sup> /h	bar	---	deg K	---
	Standard Conditions T <sub>S</sub> = 15.5°C	4.17	---	m <sup>3</sup> /h	kPa	---	deg K	---
		417	---	m <sup>3</sup> /h	bar	---	deg K	---
Standard Conditions T <sub>S</sub> = 60°F	1360	---	scfh	psia	---	deg R	---	
N <sub>8</sub>		0.948	kg/h	---	kPa	---	deg K	---
		94.8	kg/h	---	bar	---	deg K	---
		19.3	lb/h	---	psia	---	deg R	---
N <sub>9</sub> <sup>(3)</sup>	Normal Conditions T <sub>N</sub> = 0°C	21.2	---	m <sup>3</sup> /h	kPa	---	deg K	---
		2120	---	m <sup>3</sup> /h	bar	---	deg K	---
	Standard Conditions T <sub>S</sub> = 15.5°C	22.4	---	m <sup>3</sup> /h	kPa	---	deg K	---
		2240	---	m <sup>3</sup> /h	bar	---	deg K	---
Standard Conditions T <sub>S</sub> = 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, N<sub>1</sub> has a value of 1.00. If the flow rate is m<sup>3</sup>/hr and the pressures are kPa, the N<sub>1</sub> constant becomes 0.0865.  
 2. All pressures are absolute.  
 3. Pressure base is 101.3 kPa (1.013 bar)(14.7 psia).



# Válvulas de alta y/o baja recuperación



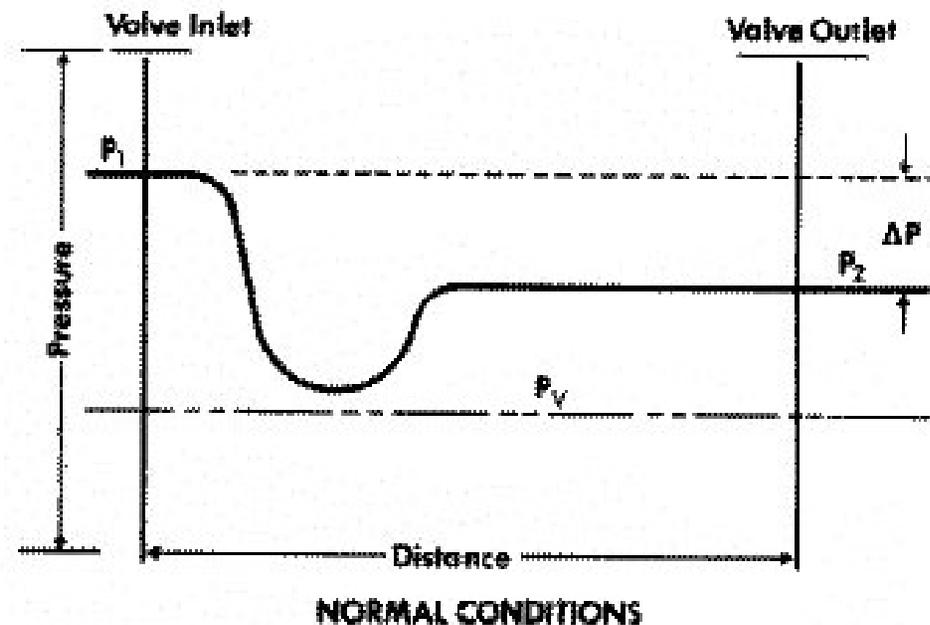
## Funcionamiento de las válvulas de control

Existen fenómenos que pueden tener efectos significativos sobre la operación de válvulas de control.

Para mantener un caudal constante en las inmediaciones de la restricción, la velocidad debe incrementarse conforme disminuye el área.

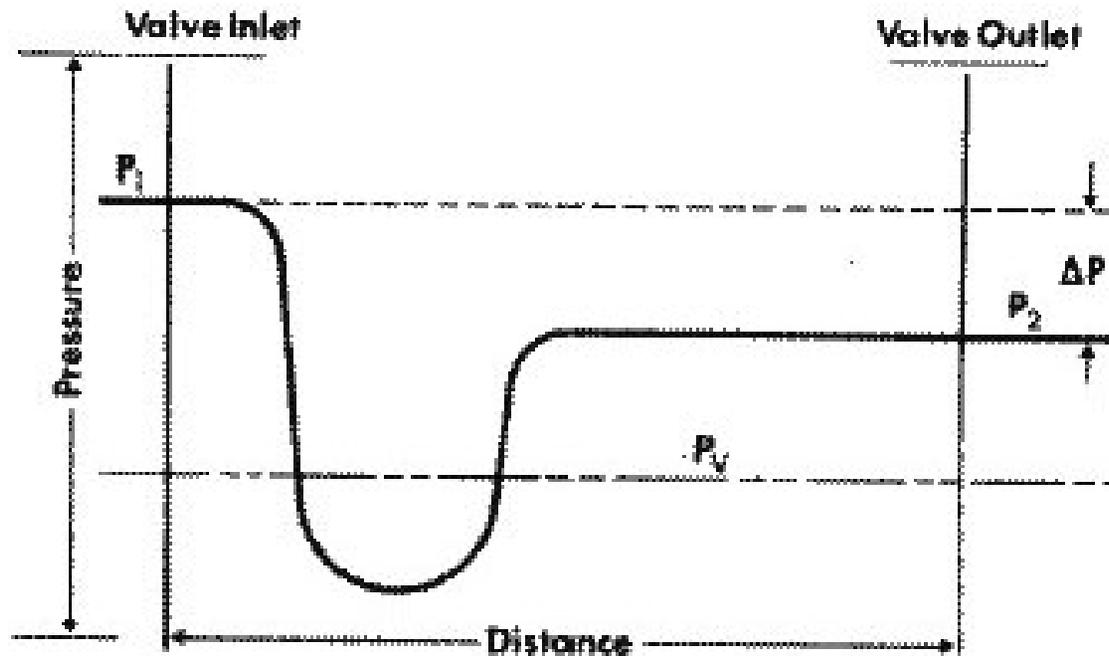
La máxima velocidad se alcanza en un punto inmediatamente posterior al área mínima, este punto es conocido como vena contracta y le corresponde el punto de mínima presión.

Luego de la vena contracta, el líquido comienza a disminuir su velocidad y a aumentar la presión.



## Cavitación en válvulas

El fluido al atravesar la restricción de la válvula, se produce un rápido incremento de la velocidad de circulación, acompañado por una disminución de presión.

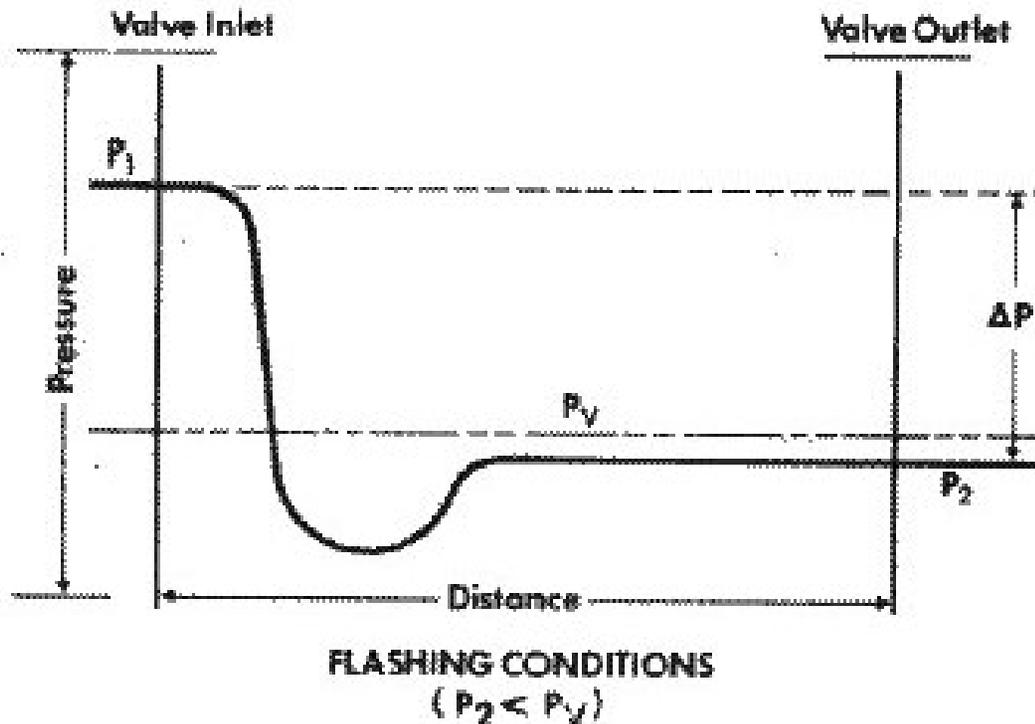


**CAVITATION CONDITIONS**  
 ( If  $P_2 \text{ Ist} < P_V$  then  $P_2 > P_V$  )

Cuando la presión en la vena contracta es inferior a  $P_v$  (presión de vapor del líquido circulante), el líquido comienza a vaporizarse (formación de burbujas), y si la recuperación de la presión del líquido es suficiente para elevarse por encima de esta  $P_v$ , entonces las burbujas comienzan a implotar, produciéndose la cavitación.

## Flujo ahogado en válvulas (choked flow)

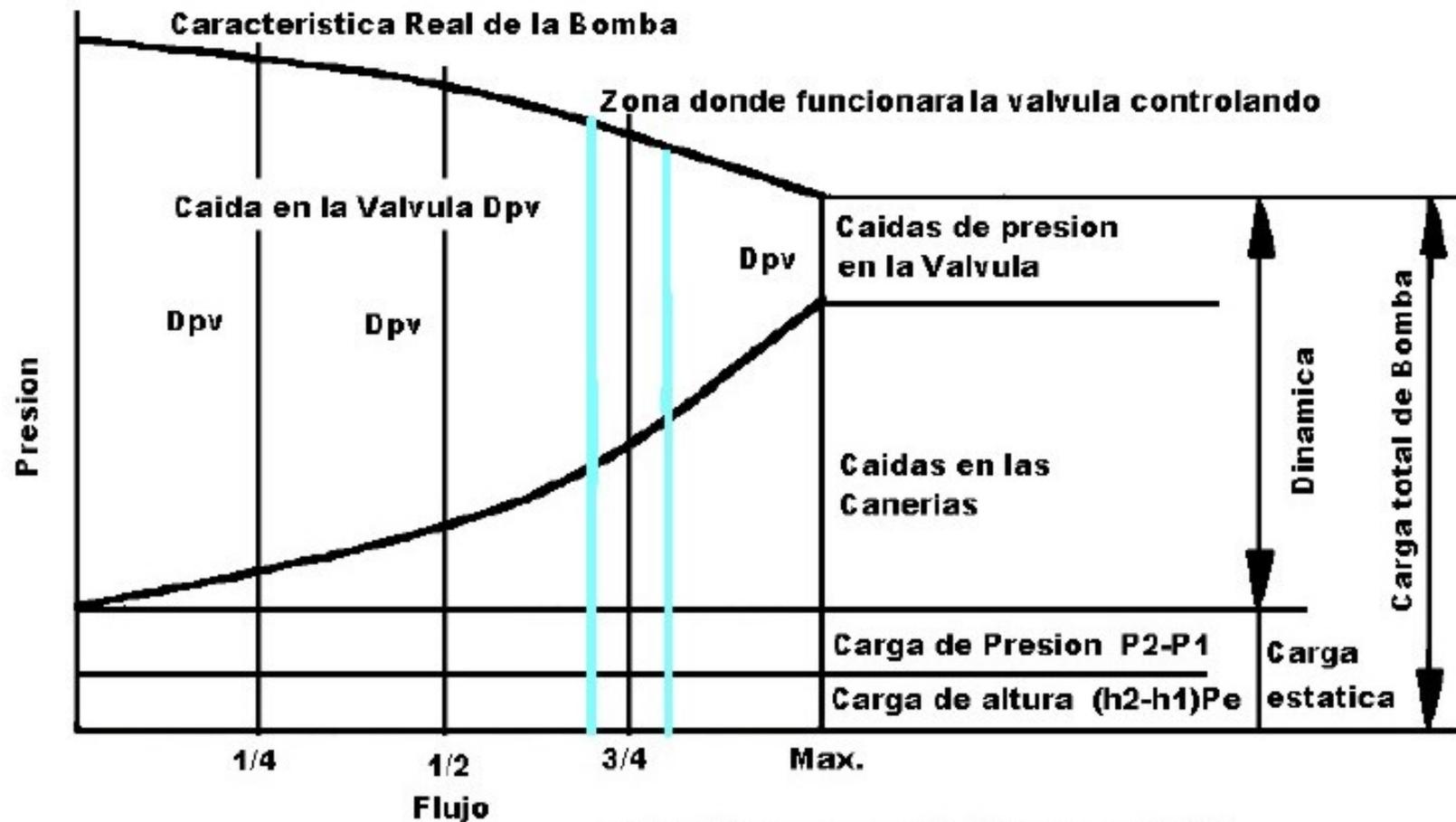
Existe flujo ahogado cuando la presión en la vena contracta es inferior a la presión de vapor del líquido circulante, y además la recuperación de la presión de este líquido no supera la  $P_v$ .



En este caso, además del daño físico, la vaporización instantánea tiende a hacer disminuir el caudal, dado que las burbujas entorpecen el paso del líquido y pueden llegar incluso a bloquearlo (choked flow).

En caso de choked flow, una disminución en el  $\Delta P$  de la válvula, no se ve correspondido con un aumento de caudal.

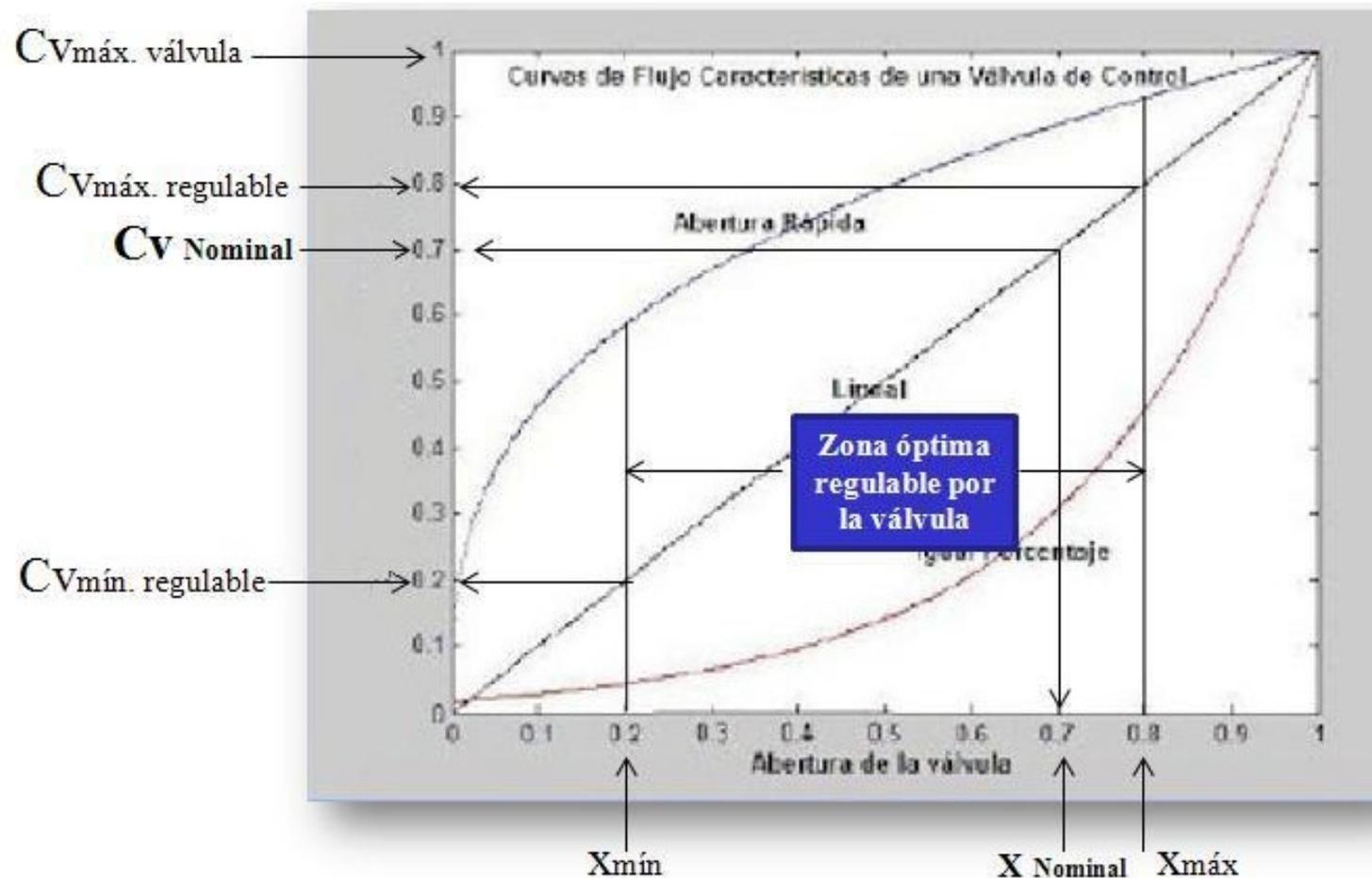
# Zona de trabajo de la válvula de control



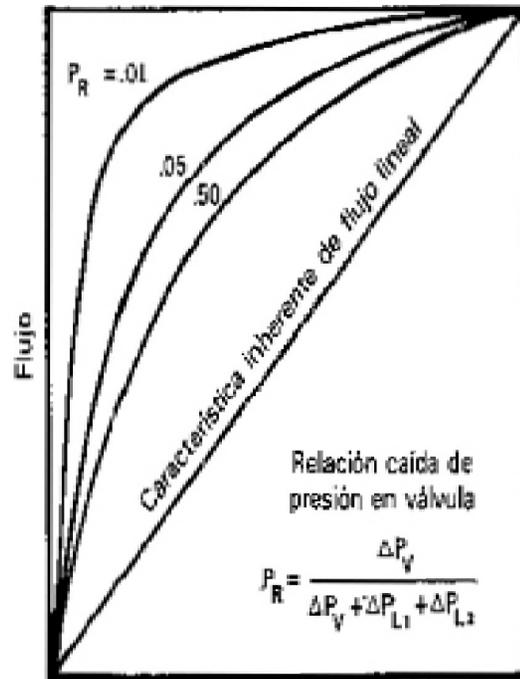
valor del proceso coincidira con el 75% de la Capacidad Maxima de la Valvula

# Controlabilidad de las válvulas de control

Se considera por cuestiones prácticas que el grado de apertura óptimo para una regulación satisfactoria del flujo debe oscilar entre el 20% al 80% del recorrido del vástago de la válvula.

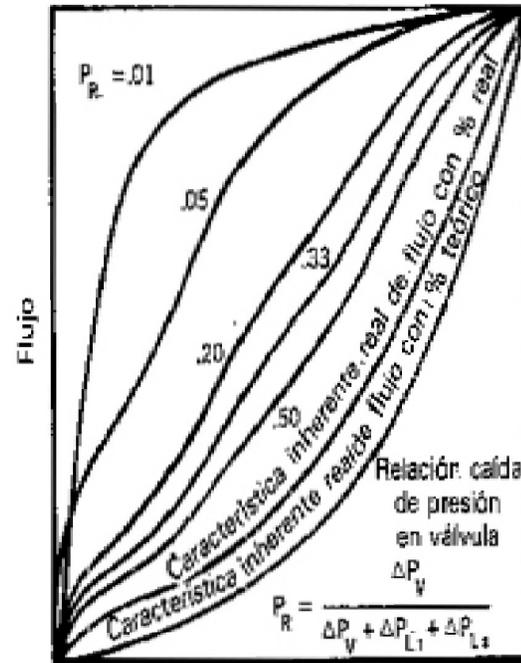


## Característica de la válvula instalada



Recorrido

Características instaladas para una válvula de característica inherente lineal



Recorrido

Características instaladas para una válvula de característica inherente porcentaje igual

Cuando la válvula se encuentra instalada y en servicio, las presiones antes y después de la misma, varían con el caudal, pero también varía el  $\Delta P$  de la válvula, por lo que su característica inherente se modifica, dando lugar a lo que se conoce como “característica instalada o en línea”.

Si  $x \uparrow$ ,  $P_1 \downarrow$ ,  $P_2 \uparrow$ ,  $\Delta P_v \downarrow$