

Instrumentación Industrial de Procesos

TEMA 7

ELEMENTOS FINALES DE CONTROL

2da. Parte



Departamento de Ingeniería de Procesos
y Gestión Industrial



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE TUCUMÁN



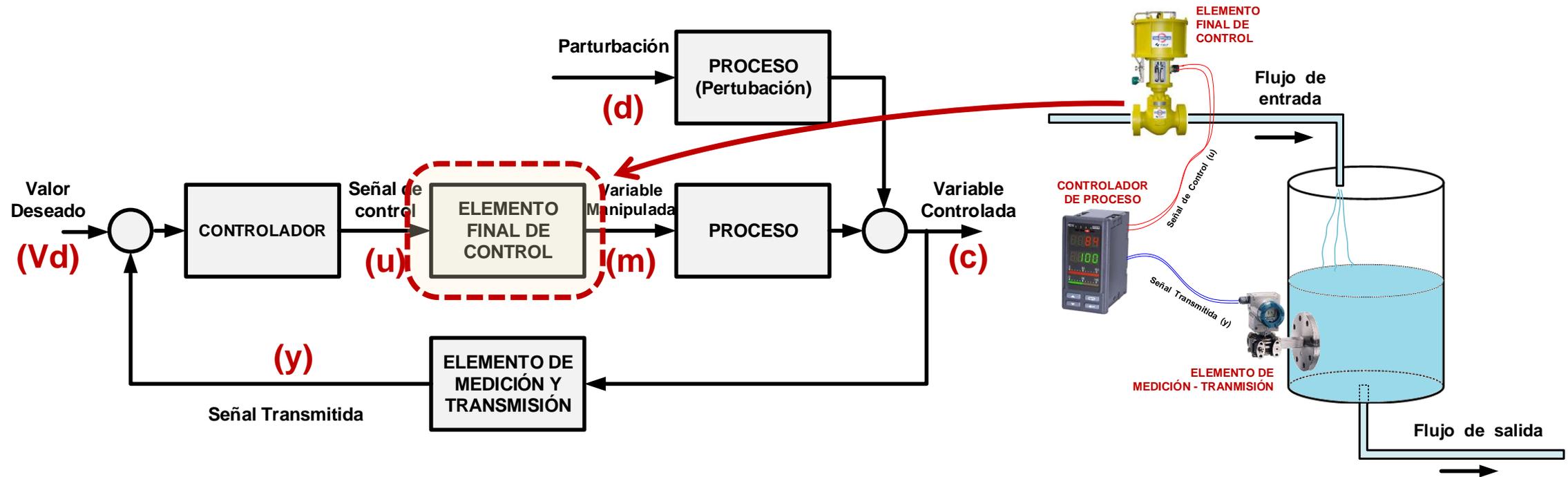
TEMA 7

ELEMENTOS FINALES DE CONTROL



Distintos elementos finales de control. Válvulas reguladoras, descripción general, tipos y características. Accionamiento neumático, retardos. Dimensionamiento de válvulas: flujo crítico, vaporización y cavitación, efecto de la viscosidad. Selección de válvulas de control. Posicionador

ELEMENTOS FINALES DE CONTROL

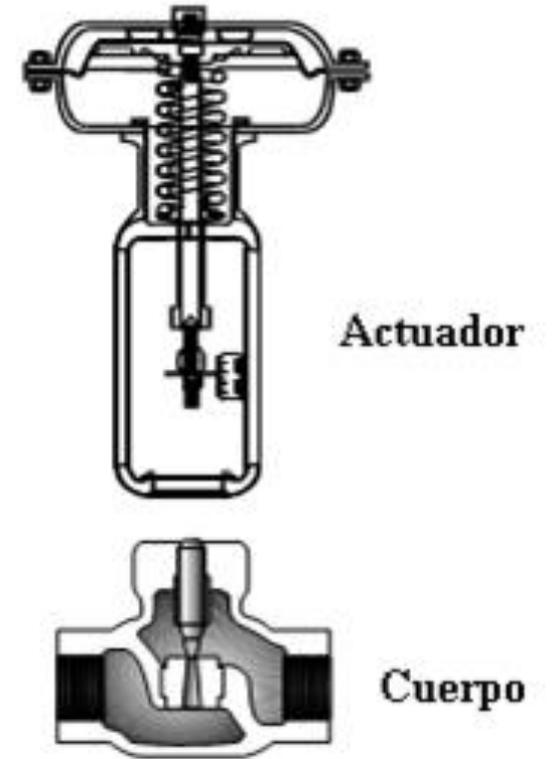


Los elementos finales de control son los **dispositivos encargados de transformar una señal de control en un flujo de masa o energía (variable manipulada)**. Es esta variable manipulada la que incide en el proceso causando cambios de la variable controlada. **Lo más común en procesos es que la manipulación sea un caudal.**

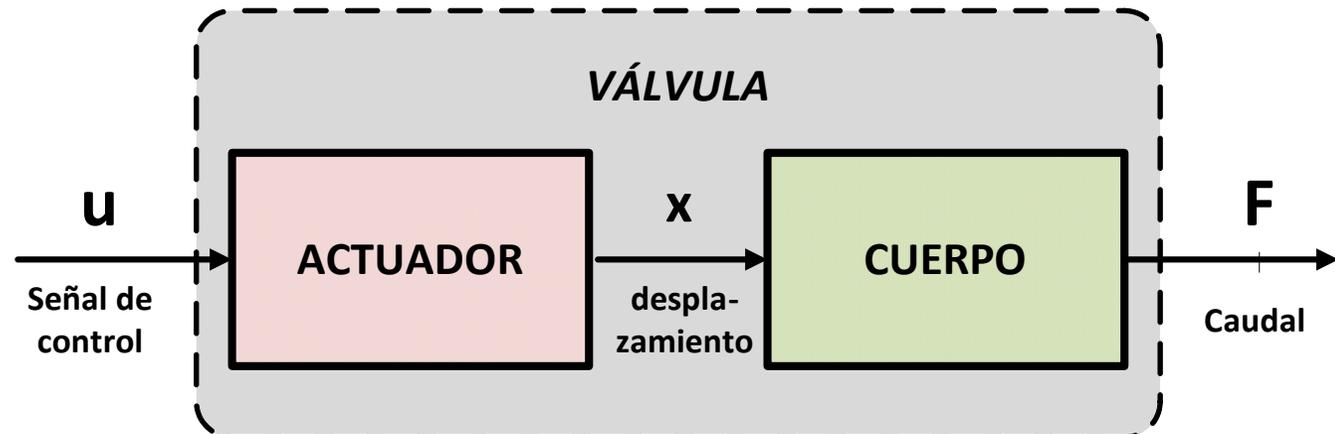
LA VÁLVULA DE CONTROL

Estos elementos los podemos considerar constituidos por dos partes:

- ❑ **Actuador:** recibe la señal de controlador y la transforma en un desplazamiento (lineal o rotacional) merced a un cambio en la presión ejercida sobre el diafragma.
- ❑ **Cuerpo:** el diafragma está ligado a un vástago o eje que hace que la sección de pasaje del fluido cambie y con ésta el caudal.



Con un diagrama en bloques se puede representar a la válvula como un sistema en serie:



ESPECIFICACIÓN DE VÁLVULAS DE CONTROL

- I. **Cuerpo e internos:** indicando el tipo, material y serie que se fija de acuerdo al servicio que debe prestar.
- II. **Dimensionamiento:** significa determinar el diámetro, que está relacionado con la capacidad.
- III. **Característica de Flujo:** en algunos casos, según el tipo de válvula, se puede especificar la característica de flujo
- IV. **Actuador:** una vez conocidos los detalles del cuerpo se debe elegir el tipo de motor (neumático de cabezal o pistón, eléctrico, etc.), la acción ante falla y el tamaño.
- V. **Accesorios:** corresponde a elementos adicionales como transductores I/P o V/P, volante para accionamiento manual, posicionador, etc.

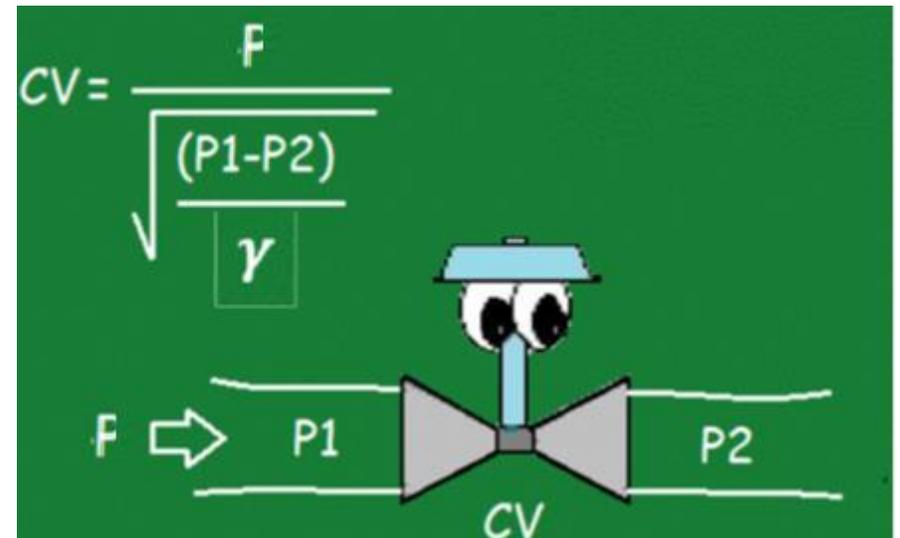


DIMENSIONAMIENTO

Por dimensionamiento se entiende la **determinación del tamaño de la válvula, que viene dado por su diámetro**. Es evidente que hay razones económicas que hacen que esta tarea sea importante, hay que tratar que este dispositivo tenga el menor tamaño (y por lo tanto el menor costo). Pero también hay razones técnicas, ya que **válvulas sobredimensionadas pueden llegar a tener un pobre desempeño cuando trabajan en un lazo de control**.

El **Coefficiente de Flujo** (o de descarga) de la **válvula Cv** relaciona el caudal que deja pasar la válvula con la diferencia de presiones a la que es sometida y depende del tipo, diámetro y grado de apertura de este dispositivo.

*El coeficiente **Cv** que los fabricantes informan para sus válvulas se emplea para el dimensionamiento.*



DIMENSIONAMIENTO

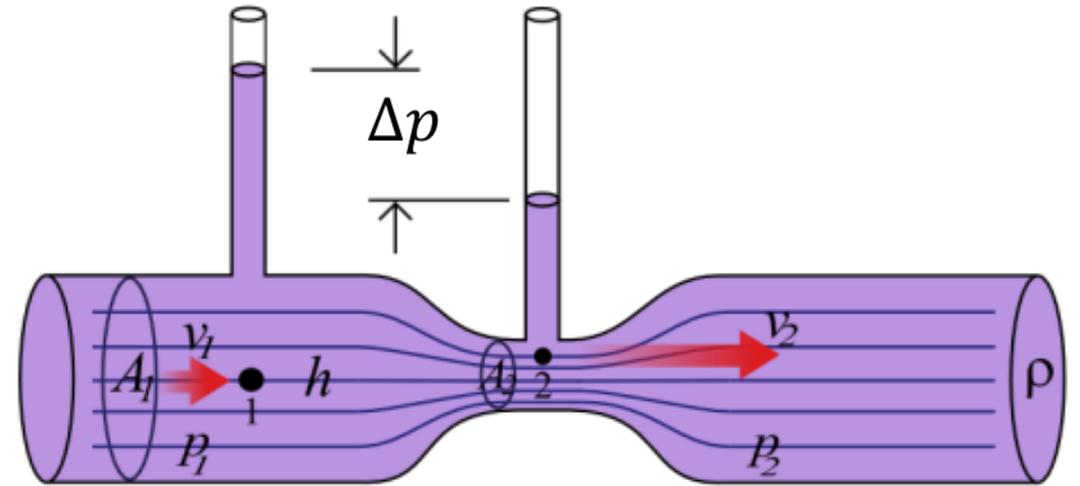
La regulación del caudal por una válvula se asimila al de un estrangulamiento en una cañería. Aplicando el Teorema de Bernoulli (régimen turbulento) entre los puntos 1 y 2:

$$\frac{1}{2} v_1^2 + \frac{p_1}{\rho_1} = \frac{1}{2} v_2^2 + \frac{p_2}{\rho_2}$$

Considerando la ecuación de continuidad:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

$$\Rightarrow F = A_2 \sqrt{\frac{2}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$



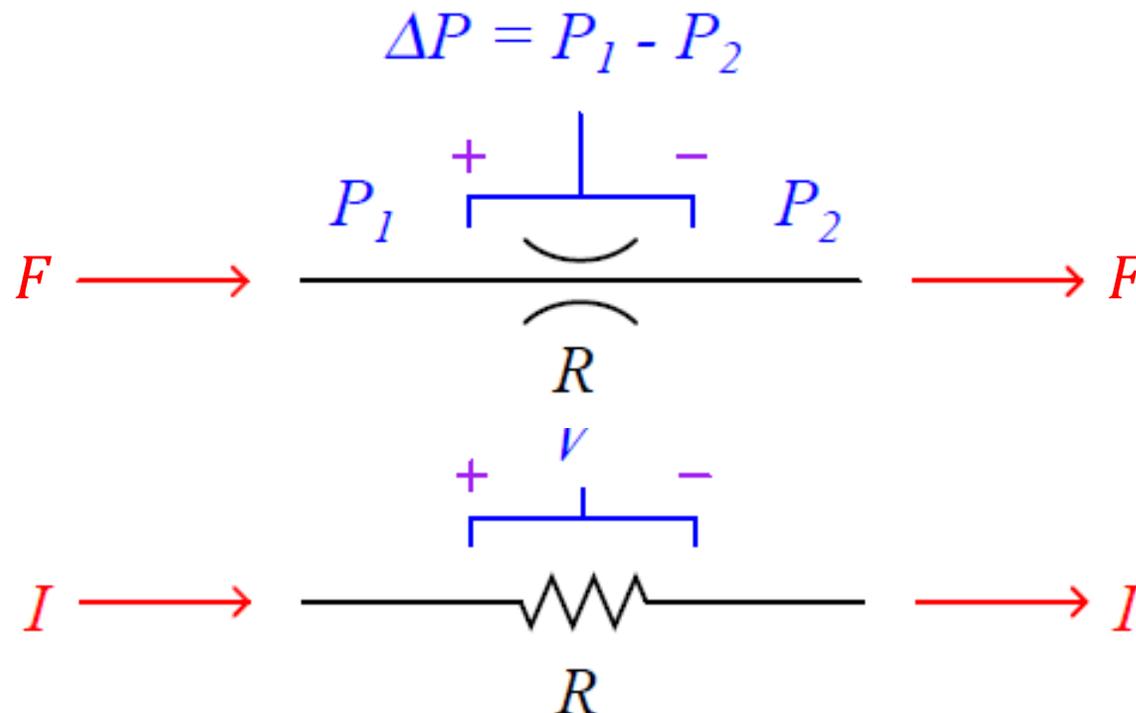
De ahí el flujo por la válvula resulta:

$$F = C_v \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma}}$$

En C_v se considera el tamaño de la válvula (A_1), la apertura (A_2) y la no idealidad del flujo.

DIMENSIONAMIENTO

De lo anterior surge que las válvulas de control se caracterizan por su capacidad para regular el flujo de fluido que pasa a través de ellas aumentando o disminuyendo la resistencia al paso del fluido. La analogía del fenómeno eléctrico del paso del flujo de electrones modulados por la resistencia eléctrica.



$$F = \frac{Cv}{\sqrt{\gamma}} \sqrt{\Delta p}$$

$$I = \frac{1}{R} V$$

DIMENSIONAMIENTO PARA LÍQUIDOS

FLUJO SUBCRÍTICO

La fórmula básica para *flujo de líquidos* en régimen *subcrítico y turbulento*, resulta:

F : Caudal en (gal/min)

P_1 : Presión aguas arriba (psia)

P_2 : Presión aguas abajo (psia)

γ : Densidad relativa del líquido respecto del agua a 60 °F

$$F = C_v \sqrt{\frac{\Delta P_V}{\gamma}} = C_v \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{\gamma}}$$

Si el caudal F se expresa en m^3/h y la diferencia de presión en bar, el coeficiente se lo denomina comúnmente **Kv**. Los fabricantes expresan la capacidad de las válvulas de las con los dos coeficientes, aunque es más generalizado el uso de C_v .

$$C_v = 1.156 K_v$$

DIMENSIONAMIENTO PARA LÍQUIDOS

Coeficiente de flujo de una válvula (C_v) es una medida de su capacidad para hacer pasar un flujo de fluido en condiciones de presión y densidad dadas. Sin embargo, no todos los tipos de válvulas de control exhiben a máxima apertura los mismos coeficientes C_v para un mismo diámetro.

Para medir la capacidad intrínseca de una válvula para manejar caudales, se define el **coeficiente de descarga específico**:

$$C_d = \frac{C_{vmax}}{d^2}$$

La tabla presenta valores de referencia. El valor para una válvula determinada los proporciona el fabricante.

TIPO	C_d
Válvula Globo - Pórtico simple	9.5
Válvula Globo - Obturador entallado	11
Válvula Globo - Balanceada	12.5
Válvula esférica segmentada	25
Válvula mariposa – 60° de apertura	17.5
Válvula mariposa – 90° de apertura	29
Válvula mariposa – 90° de apertura HP	40

PROCEDIMIENTO PARA EL DIMENSIONADO

El coeficiente **Cv** es proporcionado por el fabricante y depende del diámetro (**d**) y de la apertura (**x**):

$$Cv = f(d, x)$$

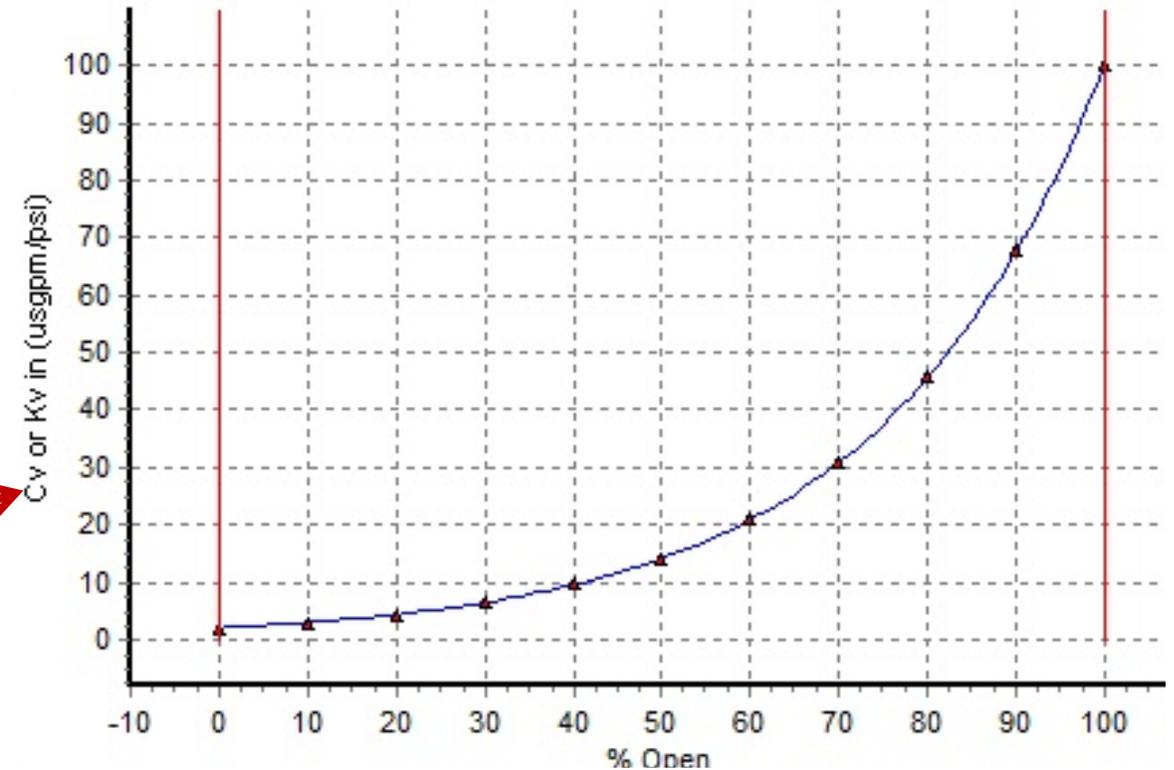
Válvula cerrada

$$x = 0 \rightarrow Cv = Cv_{min}$$

Válvula totalmente abierta

$$x = 1 \rightarrow Cv = Cv_{max}$$

Los fabricantes proveen **gráficos** o **tablas** de **Cv** en función del diámetro y la apertura.



Diámetro (pulg.)	Carrera (pulg.)	Apertura de la válvula en %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
6	2	8.67	15.1	25.0	38.2	57.0	84.5	124	178	328	449
8	2	9.36	15.6	25.7	42.1	70.2	121	218	382	577	780
10	3	24.4	37.5	56.4	86.6	137	214	337	522	768	1110
12	3	25.0	55.0	90.0	145	225	342	525	800	1230	1680

PROCEDIMIENTO PARA EL DIMENSIONADO

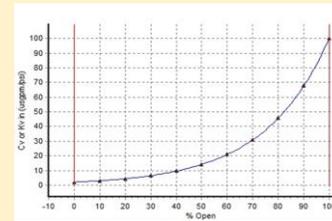
DATO: Los caudales que debe manejar la válvula depende de las necesidades del proceso

$$F = Cv(x, d) \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{\gamma}}$$

DATO: Las presiones a la entrada y salida de la válvula dependerán de la línea de transporte del fluido y de las condiciones de trabajo

DATO: la densidad relativa depende del tipo de fluido y de la temperatura

Con los valores de **Cv** que se requieren, usando la información de los fabricantes se debe elegir el diámetro **d** de la válvula que asegure que trabaje en condiciones de estado estacionario en aperturas entre el **30 y el 70 %** (término medio de la carrera del vástago)



Diámetro (pulg.)	Carrera (pulg)	Apertura de la válvula en %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
6	2	8.67	15.1	25.0	38.2	57.0	84.5	124	178	328	449
8	2	9.36	15.6	25.7	42.1	70.2	121	218	382	577	780
10	3	24.4	37.5	56.4	86.6	137	214	337	522	768	1110
12	3	25.0	55.0	90.0	145	225	342	525	800	1230	1680

DIMENSIONAMIENTO – DATOS REQUERIDOS

Rango de caudales de trabajo

Se deben conocer entre qué valores de flujos trabajará en estado estacionario la válvula. Esto implica fijar

- **F_Nmin:** caudal de estado estacionario mínimo
- **F_Nmax:** caudal de estado estacionario máximo

Una práctica recomendada es evaluar también el caudal máximo que pasará en condiciones de máxima apertura (**Fmax**). La experiencia práctica recomienda que **Fmax** sea 25 a 30 % mayor a F_Nmax.

Presión aguas arriba y abajo de la válvula

Si la válvula se va a instalar en una línea existente, esto se puede conocer para los caudales normales, ya que existe el mecanismo de movimiento del fluido (bombas, altura gravimétrica, etc.).

Si se está proyectando la línea en la que se instala la válvula, debe adoptarse una pérdida de carga “razonable”. La experiencia sugiere que ΔP_v sea aproximadamente la tercera parte de la pérdida de carga total (incluida la válvula).

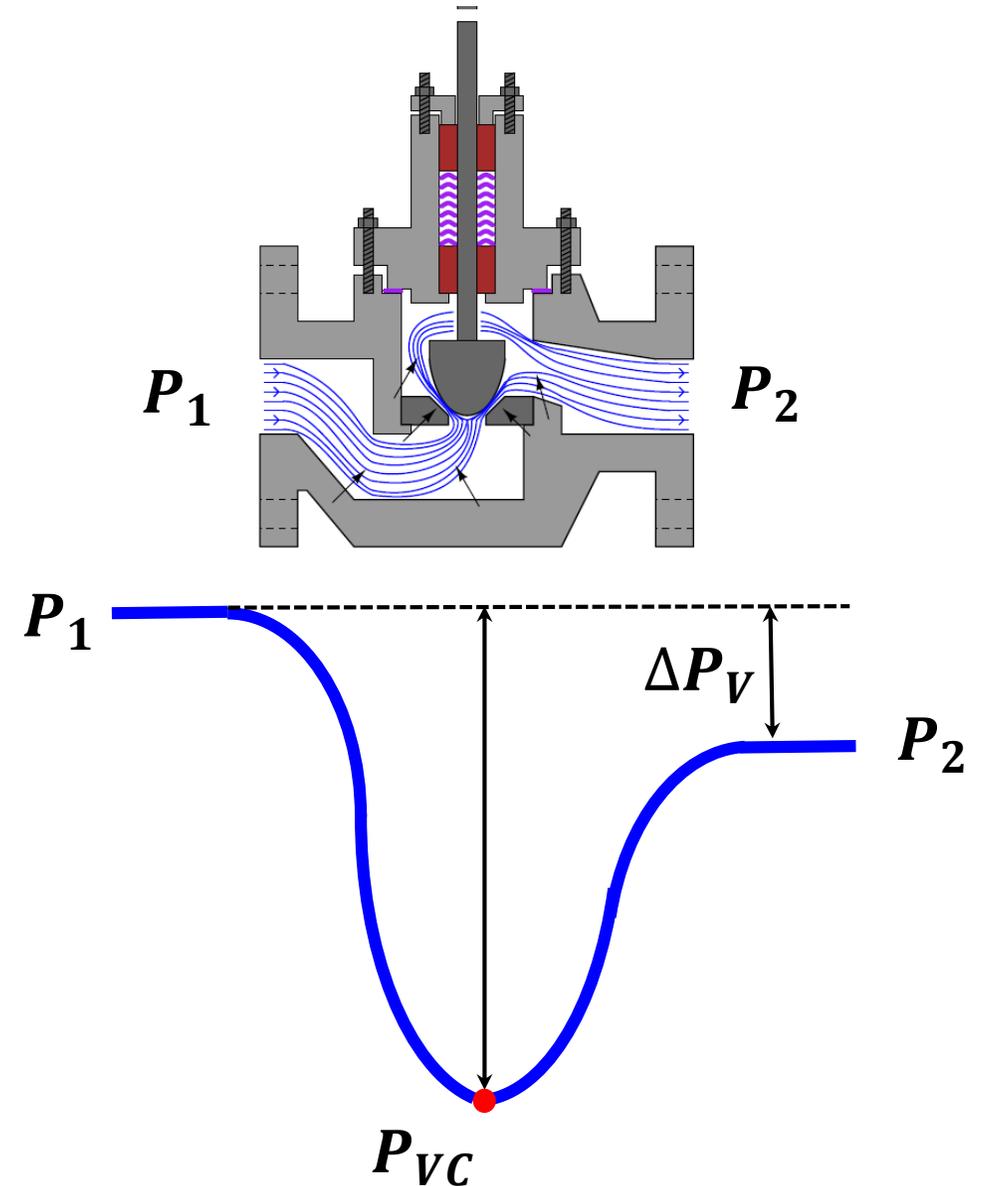
Propiedades físicas del fluido. se requiere conocer la densidad y viscosidad

DIMENSIONAMIENTO – FACTOR DE RECUPERACIÓN

Un parámetro importante para predecir el comportamiento de una válvula de control es el **factor de recuperación de presión** para líquidos de la válvula (F_L).

Este factor permite comparar la diferencia de presión total de la válvula de entrada a salida con la caída de presión desde la entrada hasta el punto de presión mínima dentro de la válvula (**presión de vena contracta P_{VC}**):

$$F_L = \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_{VC}}}$$



DIMENSIONAMIENTO

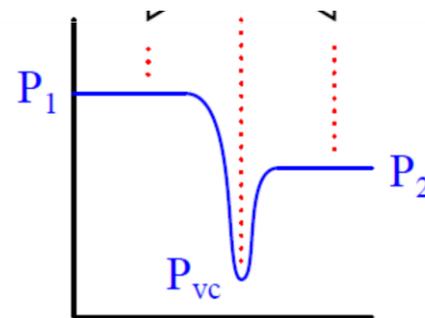
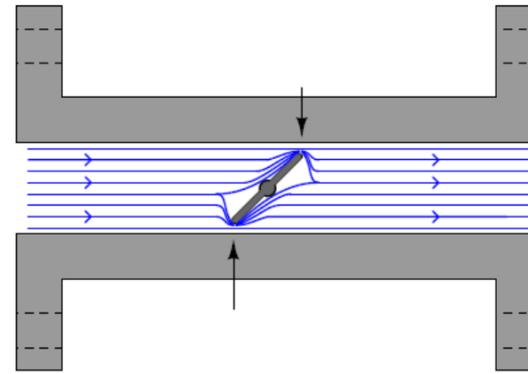
FACTOR DE RECUPERACIÓN

$$F_L = \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_{VC}}}$$

En la válvula mariposa la trayectoria del fluido es menos intrincada que en la globo con lo resulta menor el **factor de recuperación F_L** .

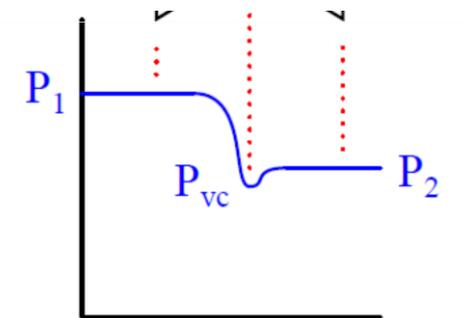
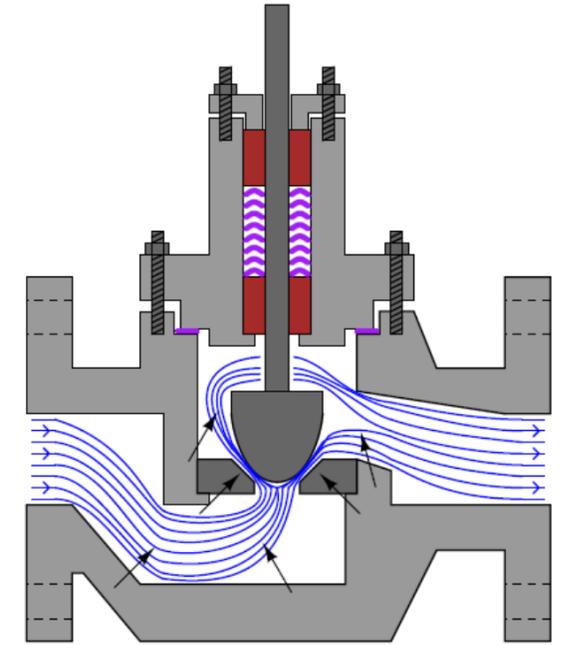
Los fabricantes proporcionan los valores de este Factor. A modo de comparación Una válvula mariposa HP tiene un factor de 0.60, mientras que una globo de asiento simple el factor vale 0.90.

Válvula mariposa



Alta recuperación
Bajo F_L

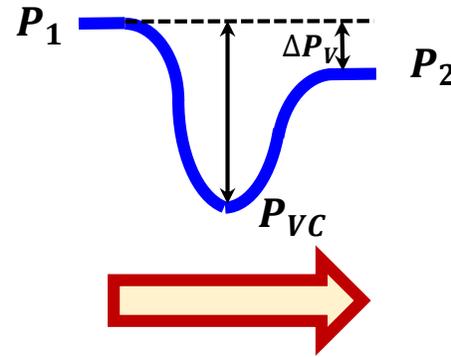
Válvula globo



Baja recuperación
Alto F_L

DIMENSIONAMIENTO - FLUJO CRÍTICO

¿Qué sucede si la diferencia de presiones $P_1 - P_2$ es mayor que $P_1 - P_{VC}$?



Se establece **flujo crítico** (en la sección de mayor la velocidad el fluido alcanza la velocidad del sonido). En tales condiciones, el flujo a través de la válvula solo depende de la presión aguas arriba

Condición de flujo crítico: $\Delta P_V = P_1 - P_2 \geq \Delta P_{max} = F_L^2 (P_1 - P_{VC})$

El caudal por la válvula en condiciones de flujo crítico se calcula con la expresión:

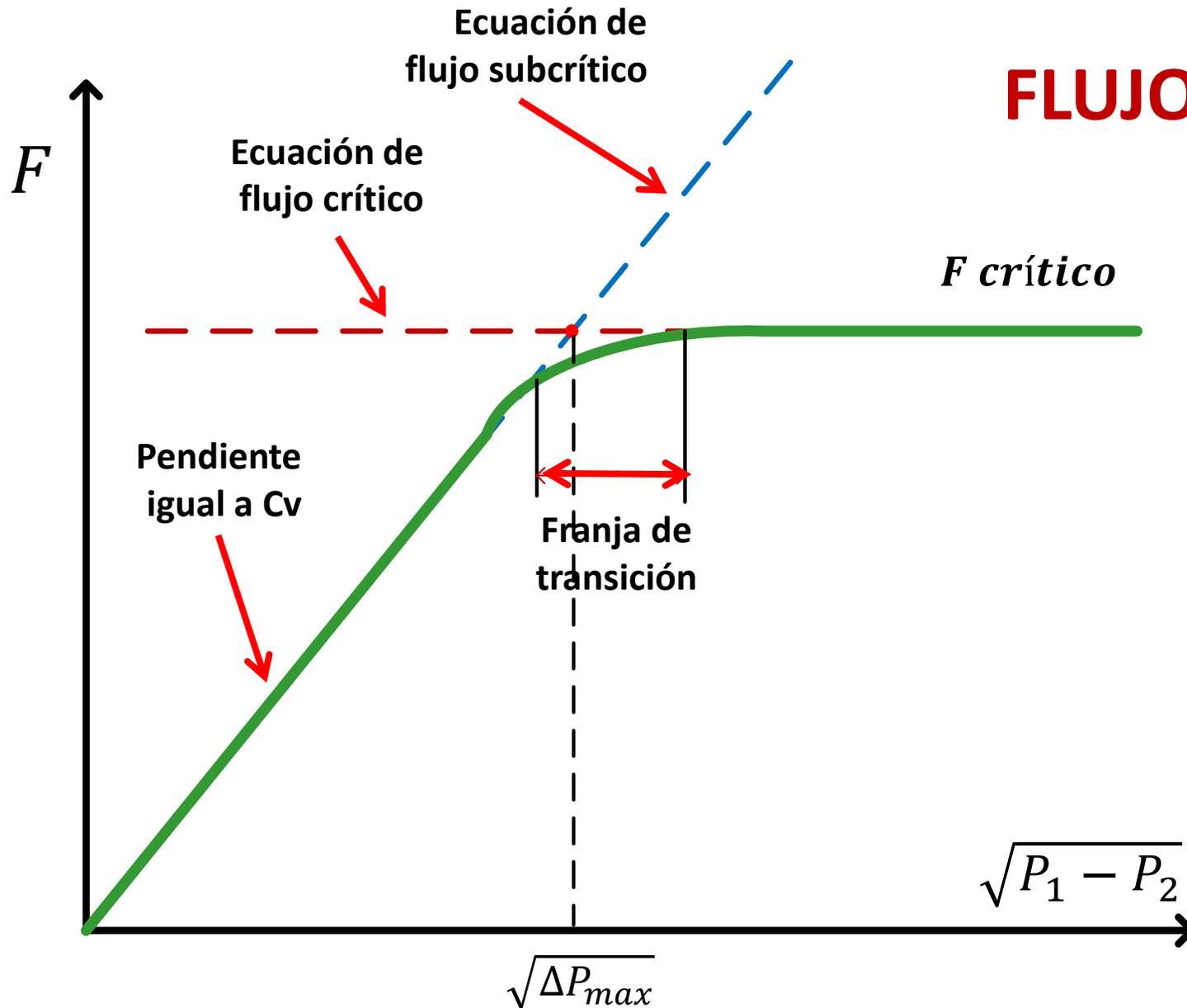
$$F = Cv \sqrt{\frac{\Delta P_{max}}{\gamma}} = Cv F_L \sqrt{\frac{P_1 - P_{VC}}{\gamma}}$$

Como la presión de vena contracta es muy difícil de medir, se propone como estimación:

$$P_{VC} = F_F P_{vap} = \left(0.06 - 0.28 \sqrt{\frac{P_{vap}}{P_C}} \right) P_{vap}$$

P_{vap}
presión de vapor
 P_C
presión crítica

DIMENSIONAMIENTO FLUJO CRÍTICO DE LÍQUIDOS

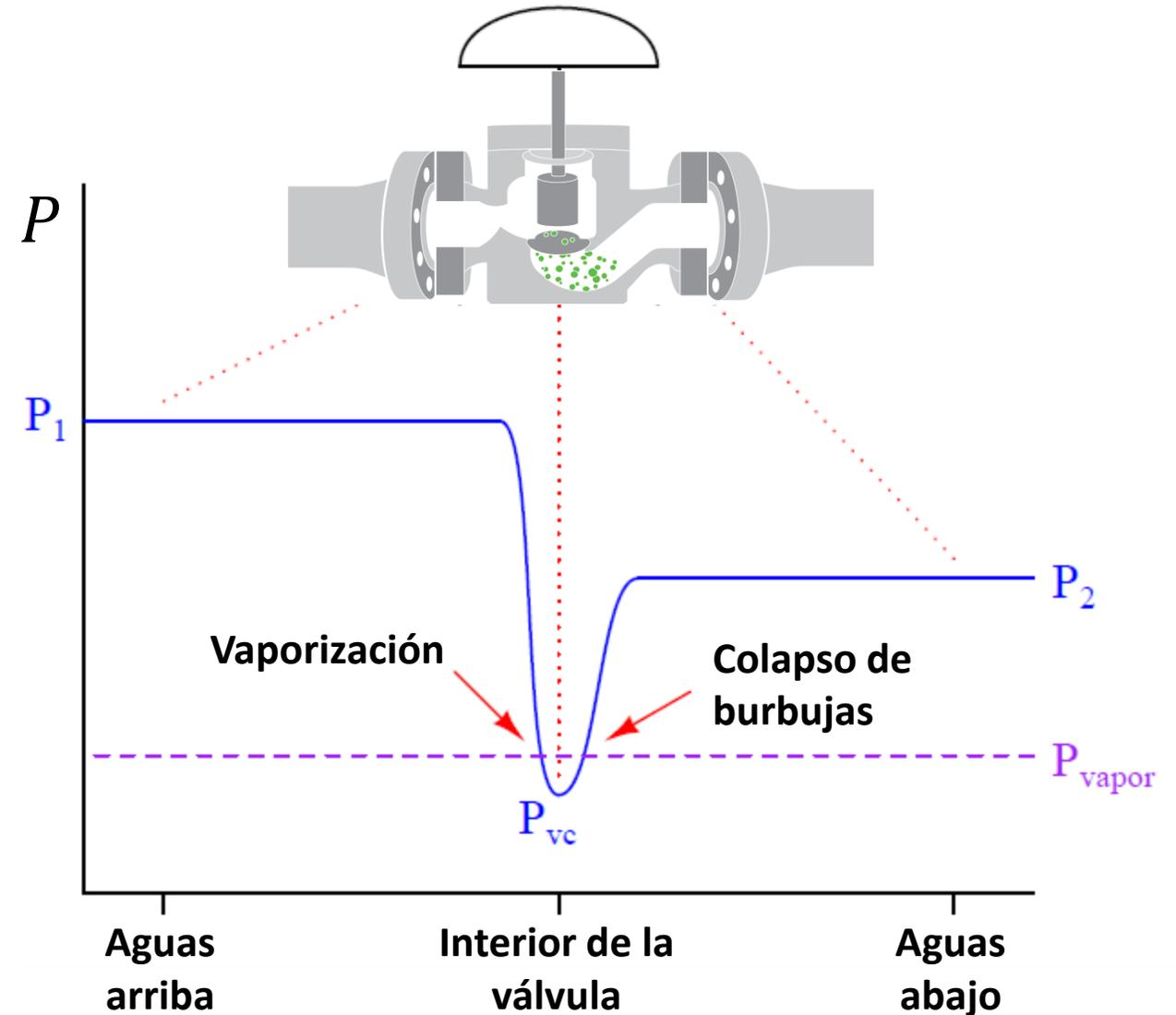


$$\begin{aligned}\Delta P_{max} &= F_L^2 (P_1 - P_{VC}) \\ &= F_L^2 (P_1 - F_F P_{vap})\end{aligned}$$

Hay una zona de transición entre los dos tipos de flujo en los que el caudal real es menor que el estimado por las ecuaciones de diseño.

DIMENSIONAMIENTO - CAVITACIÓN

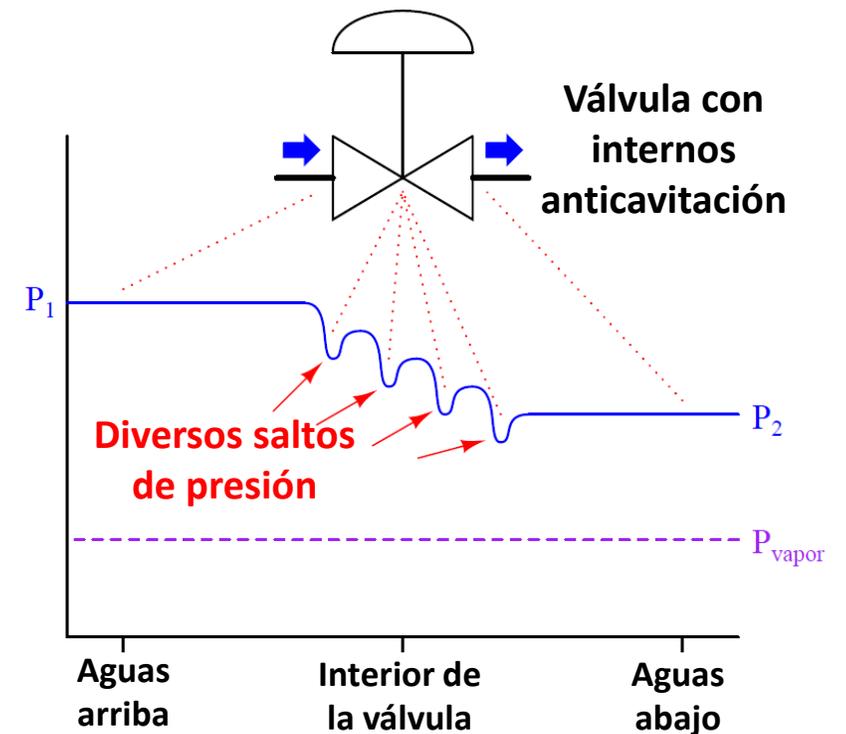
Si la **presión en la vena contracta es menor que la presión de vapor** ese líquido a la temperatura a la que fluye, hervirá espontáneamente. Si en un corto tramo, la presión se recupera superando la presión de vapor, las burbujas de vapor colapsarán y se produce el fenómeno de **cavitación**.



DIMENSIONAMIENTO - CAVITACIÓN

La cavitación es un fenómeno no es aceptable como comportamiento normal de una válvula, por lo que hay que tenerla en cuenta en la etapa de diseño. Para evitar este problema hay varias posibilidades:

- ❑ Usar válvulas que no tengan alta recuperación (bajos valores de F_L).
- ❑ Relocalizar la válvula en la línea colocándola en la región de mayores presiones.
- ❑ Usar temperaturas de líquido menores o bien colocar la válvula donde ésta sea la más baja.
- ❑ Emplear internos de válvula (trim) para disminuir o eliminar la cavitación.



DIMENSIONAMIENTO - CAVITACIÓN

En la etapa de diseño, se debe verificar que no se produzca cavitación. Para esto, los fabricantes proporcionan un factor **Kc** específico de cada tipo de válvula. Para que no se produzca cavitación debe cumplirse que:

$$\Delta P_V = P_1 - P_2 \leq Kc (P_1 - P_{vap})$$

Por ejemplo, para válvulas mariposa convencionales de 60° de apertura Kc vale 0.39.

DIMENSIONAMIENTO - VAPORIZACIÓN

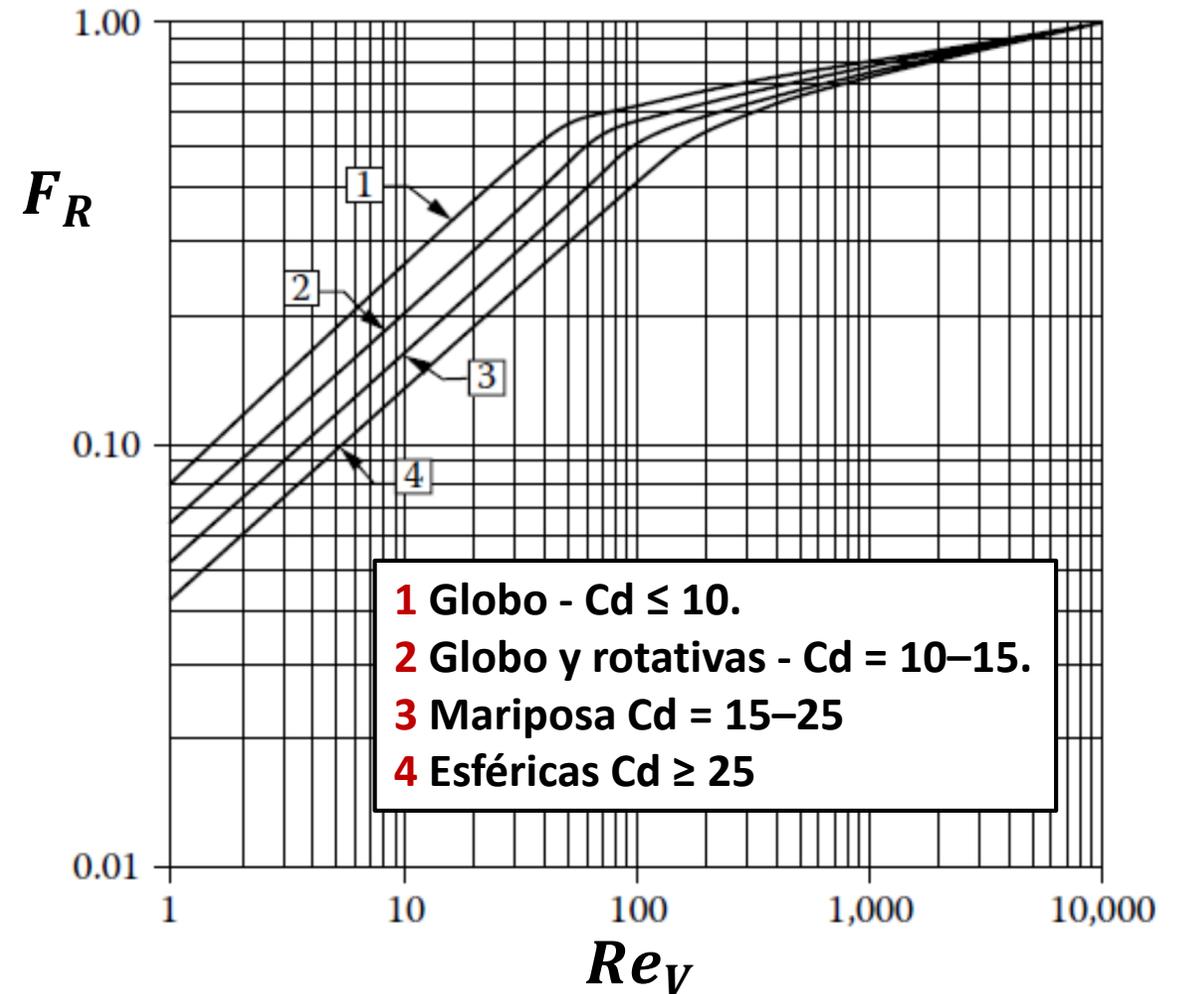
El flashing comienza de la misma manera que la cavitación. Pero en este caso, la presión aguas abajo es lo suficientemente baja de modo que hay una descarga de líquido y vapor o simplemente como vapor. En muchos casos, la vaporización, es una parte normal del proceso; no se puede evitar y se requieren diseños especiales de válvulas sobre todo para evitar erosión severa .

DIMENSIONAMIENTO FLUJO LAMINAR

Las ecuaciones de dimensionamiento están formuladas para que el escurrimiento sea **turbulento**. Por tal razón, una vez calculado el valor de C_v , se debe verificar el tipo de flujo. Para ello se calcula el Número de Reynolds en la válvula:

$$Re_V = \frac{8.73 \cdot 10^4 \cdot F_d \cdot F}{\mu \sqrt{C_v F_L}} \left(\frac{F_L^2 C_v^2}{8.9 \cdot 10^2 d^4} + 1 \right)^{0.25}$$

Si $Re_V \geq 10^4$ se confirma régimen turbulento. En caso contrario se recalcula C_v usando un factor de corrección F_R .



$$F = C_v F_R \sqrt{\frac{\Delta P_V}{\gamma}}$$

$$F = C_v F_R F_L \sqrt{\frac{P_1 - P_{VC}}{\gamma}}$$

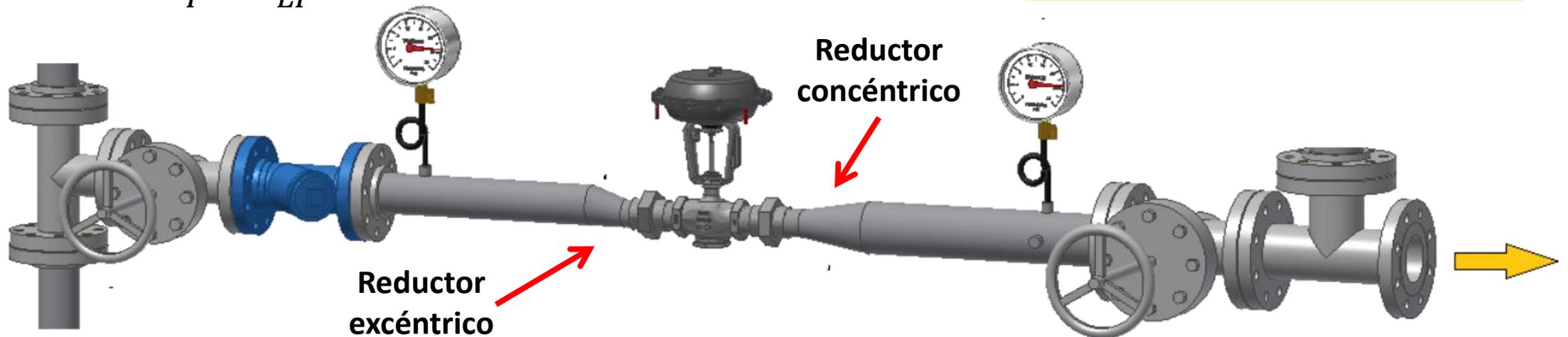
INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA DE LA CAÑERÍA

Una vez dimensionada la válvula y determinado su C_v , puede suceder que la cañería sobre la que debe ser instalada no coincida en dimensiones y deba hacerse adaptaciones. En ese caso, habrá que considerar dos factores de corrección adicionales: F_P o F_{LP} .

$$\Delta P_V \leq \left(\frac{F_P}{F_{LP}} \right)^2 (P_1 - P_{VC}) \quad \Rightarrow \quad \text{Flujo Subcrítico}$$

$$F = C_v F_R F_P \sqrt{\frac{\Delta P_V}{\gamma}}$$

Si el flujo es crítico: $F = C_v F_R F_{LP} \sqrt{\frac{P_1 - P_{VC}}{\gamma}}$



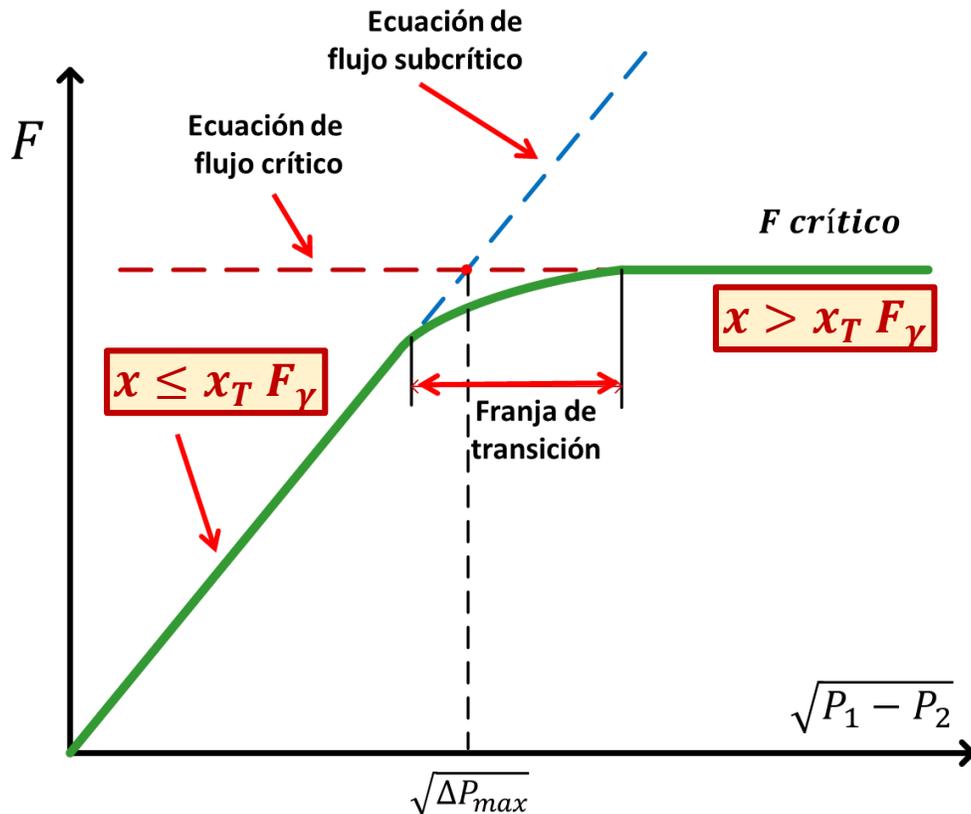
INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA DE LA CAÑERÍA



Se puede observar la reducción (y expansión) de diámetro con ángulo pronunciado, enderezador de vena fluida (antes de la válvula) y caudalímetro insertado antes de la admisión del elemento final de control

DIMENSIONAMIENTO – FLUIDOS COMPRESIBLES

Cuando la válvula de control debe manejar fluidos compresibles, hay que tener en cuenta el **cambio de densidad con la presión**. Por eso la ecuación de dimensionamiento tiene en cuenta este detalle.



Para conocer **el tipo de flujo**, se analiza la condición:

$$x = \frac{\Delta P_V}{P_1} \leq x_T F_\gamma \quad F_\gamma = \frac{\gamma}{1.40}$$

x_T es un parámetro que depende de la válvula y es informado por los fabricantes. Como el test se hace con aire, el factor F_γ tiene en cuenta la relación del coeficientes de Poisson de fluido relativo al del aire.

DIMENSIONAMIENTO – FLUIDOS COMPRESIBLES

Las ecuaciones para dimensionamiento usando unidades inglesas (consulta la norma ISA 75.01 para otras unidades):

Flujo subcrítico

$$x \leq x_T F_\gamma$$

$$Q = 7.32 \cdot 10^3 F_P P_1 Y \sqrt{\frac{x}{\gamma_G T_1 Z}}$$
$$Y = 1 - \frac{x}{3 F_\gamma x_T} \quad \text{Factor de expansión}$$

$$Q \left(\frac{\text{scft}}{h} \right)$$

$$P_1 \text{ (psia)} \quad T_1 \text{ (}^\circ\text{R)}$$

Z (factor de compresibilidad)

Flujo crítico

$$x > x_T F_\gamma$$

$$Q = 1.36 \cdot 10^3 P_1 0,667 \sqrt{\frac{F_\gamma x_T}{\gamma_G T_1 Z}}$$

γ_G (Densidad relativa al aire a 60 °F y 14.7 psia)

También deben hacerse las correcciones por la geometría de la cañería y para considerar flujo viscoso.

DIMENSIONAMIENTO – COEFICIENTES TÍPICOS

Valve type	Trim type	Flow direction ²⁾	F_L	x_T	F_d
Globe, single port	3 V-port plug	Open or close	0.9	0.70	0.48
	4 V-port plug	Open or close	0.9	0.70	0.41
	6 V-port plug	Open or close	0.9	0.70	0.30
	Contoured plug (linear and equal percentage)	Open	0.9	0.72	0.46
		Close	0.8	0.55	1.00
60 equal diameter hole drilled cage	Outward ³⁾ or inward ³⁾	0.9	0.68	0.13	
Butterfly (centered shaft)	Swing-through (70°)	Either	0.62	0.35	0.57
	Swing-through (60°)	Either	0.70	0.42	0.50
	Fluted vane (70°)	Either	0.67	0.38	0.30
High Performance Butterfly (eccentric shaft)	Offset seat (70°)	Either	0.67	0.35	0.57
Ball	Full bore (70°)	Either	0.74	0.42	0.99
	Segmented ball	Either	0.60	0.30	0.98

DIMENSIONAMIENTO – COEFICIENTES TÍPICOS

TABLE 6.15c (Liptak)

Representative Values of Relative Valve Capacity Coefficients (C_d) and of Other Sizing Factors for a Variety of Valve Designs. The C_d Values Listed are for Valves with Full Area Trims, When the Valve is Fully Open

Valve Type	Trim Type	Flow Direction*	X_T	F_L	F_d	F_s	$C_d = C_v/d^{2**}$	K_c
GLOBE								
Single-port	Ported plug, 4 port	Either	0.70	0.90	0.48	1.0	9.5	0.65
		Open	0.72	0.90	0.46	1.1	11	0.65
	Contoured plug	Close	0.55	0.80	1.0	1.1	11	0.58
		Open	0.75	0.90	0.45	1.1	14	0.65
	Characterized cage, 4 port	Close	0.75	0.85	0.41	1.1	16	0.60
		Either	0.75	0.90	0.58	1.1	11	0.60
Double-port	Ported plug	Either	0.75	0.90	0.28	0.84	12.5	0.80
	Contoured plug	Either	0.70	0.85	0.32	0.85	13	0.70
	Wing-guided	Either	0.75	0.90	0.41	0.84	14	0.80
Rotary	Eccentric spherical plug	Open	0.60	0.85	0.42	1.1	12	0.60
		Close	0.40	0.68	0.42	1.2	13.5	0.35

DIMENSIONAMIENTO – COEFICIENTES TÍPICOS

TABLE 6.15c (Liptak - continuación)

Representative Values of Relative Valve Capacity Coefficients (C_d) and of Other Sizing Factors for a Variety of Valve Designs. The C_d Values Listed are for Valves with Full Area Trims, When the Valve is Fully Open

Valve Type	Trim Type	Flow Direction*	X_T	F_L	F_d	F_c	$C_d = C_v/d^{2**}$	K_r
ANGLE	Contoured plug	Open	0.72	0.90	0.46	1.1	17	0.65
		Close	0.65	0.80	1.0	1.1	20	0.55
	Characterized cage, 4 port	Open	0.65	0.85	0.45	1.1	12	0.60
		Close	0.60	0.80	1.0	1.1	12	0.55
	Venturi	Close	0.20	0.50	1.0	1.3	22	0.21
BALL	Segmented (throttling)	Open	0.30	0.80	0.98	1.2	25	0.25
	Standard port (diameter $\approx 0.8d$)	Either	0.42	0.74	0.99	1.3	30	0.20
BUTTERFLY	60°, no offset seat	Either	0.42	0.70	0.5	0.95	17.5	0.39
	90°, offset seat	Either	0.35	0.60	0.45	0.98	29	0.32
	90°, no offset seat	Either	0.08	0.53	0.45	1.2	40	0.12

*Flow direction tends to open or close the valve, i.e., push the closure member away from or toward the seat.

**In this table, d may be taken as the nominal valve size, in inches.

ANSI/ISA-75.01.01-2002
(IEC 60534-2-1 Mod)

Flow Equations for
Sizing Control Valves

NOTICE OF COPYRIGHT

This is a copyrighted document and may not be copied or distributed in any form or manner without the permission of ISA. This copy of the document was made for the sole use of the person to whom ISA provided it and is subject to the restrictions stated in ISA's license to that person. It may not be provided to any other person in print, electronic, or any other form. Violations of ISA's copyright will be prosecuted to the fullest extent of the law and may result in substantial civil and criminal penalties.

Approved 3 July 2002



ISA—The Instrumentation,
Systems, and
Automation Society

DIMENSIONAMIENTO - NORMAS

Por años existieron dos procedimientos para el dimensionamiento de válvulas de control, surgidos de dos fabricantes:

- ❑ **Masoneilan** que definió el coeficiente C_v y varios fabricantes comenzaron a usar su criterio.
- ❑ **Fisher** que usaba otros coeficientes de descarga.

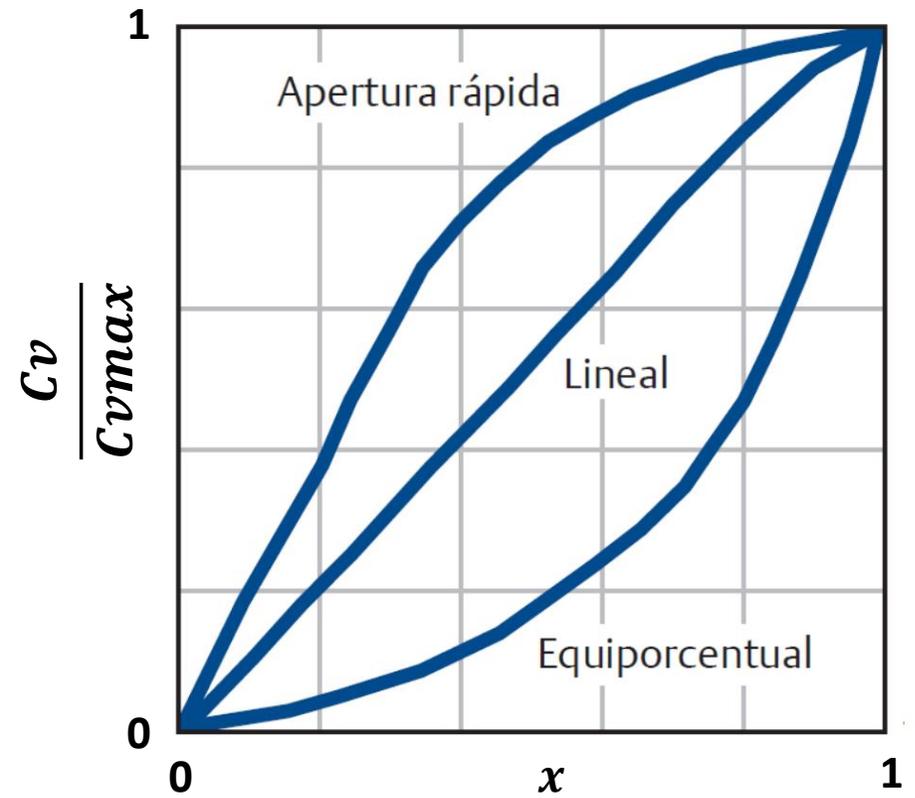
A partir de los aportes de estos pioneros, y usando investigación de la academia, se generó un estándar para el procedimiento de dimensionamiento: **ANSI/ISA-75.01.01-2002 (IEC 60534-2-1 Mod) *Flow Equations for Sizing Control Valves.***

CARACTERÍSTICA DE FLUJO

La relación entre el flujo que pasa por una válvula y su apertura se denomina **Característica de Flujo**. Esta sería la **Característica de Flujo Instalada**.

Los fabricantes proveen la **Característica Inherente de Flujo**, que es la relación caudal apertura para pérdida de carga constante, que en definitiva es la relación de C_v con la apertura. Es una propiedad intrínseca de la válvula.

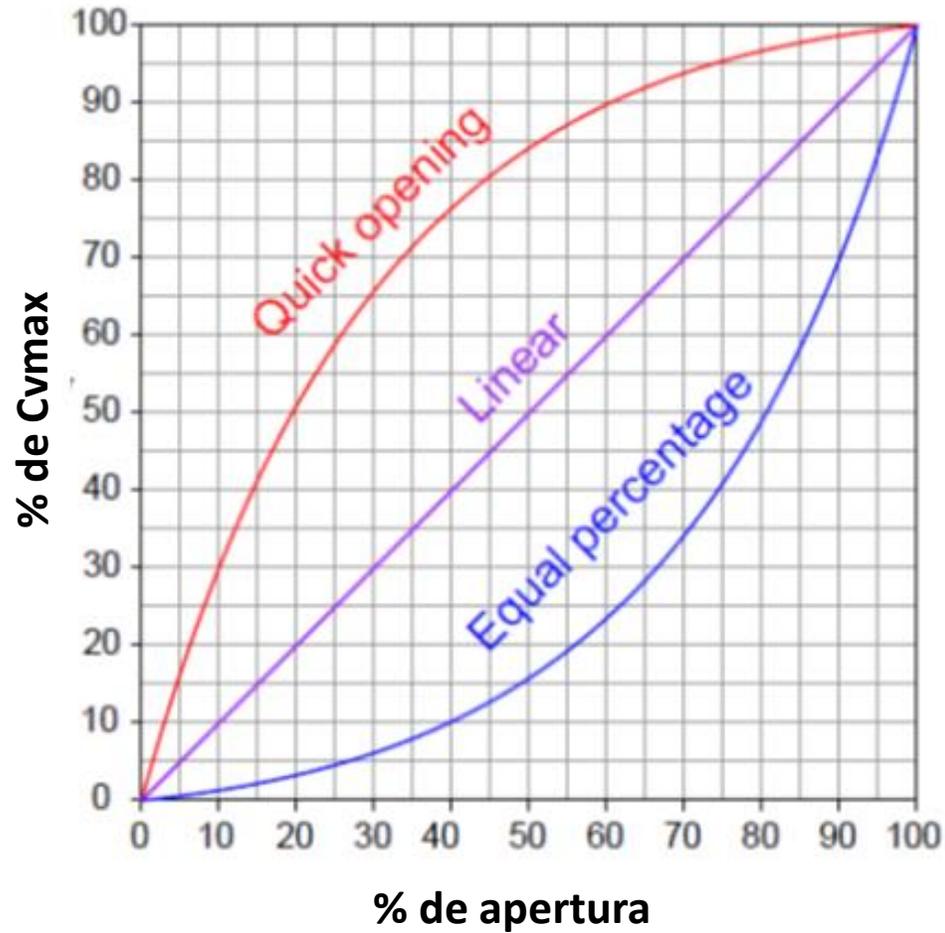
Existen Características Inherentes (ampliamente difundidas como ser la **lineal** y la **igual porcentaje**). Estas son **características ideales**.



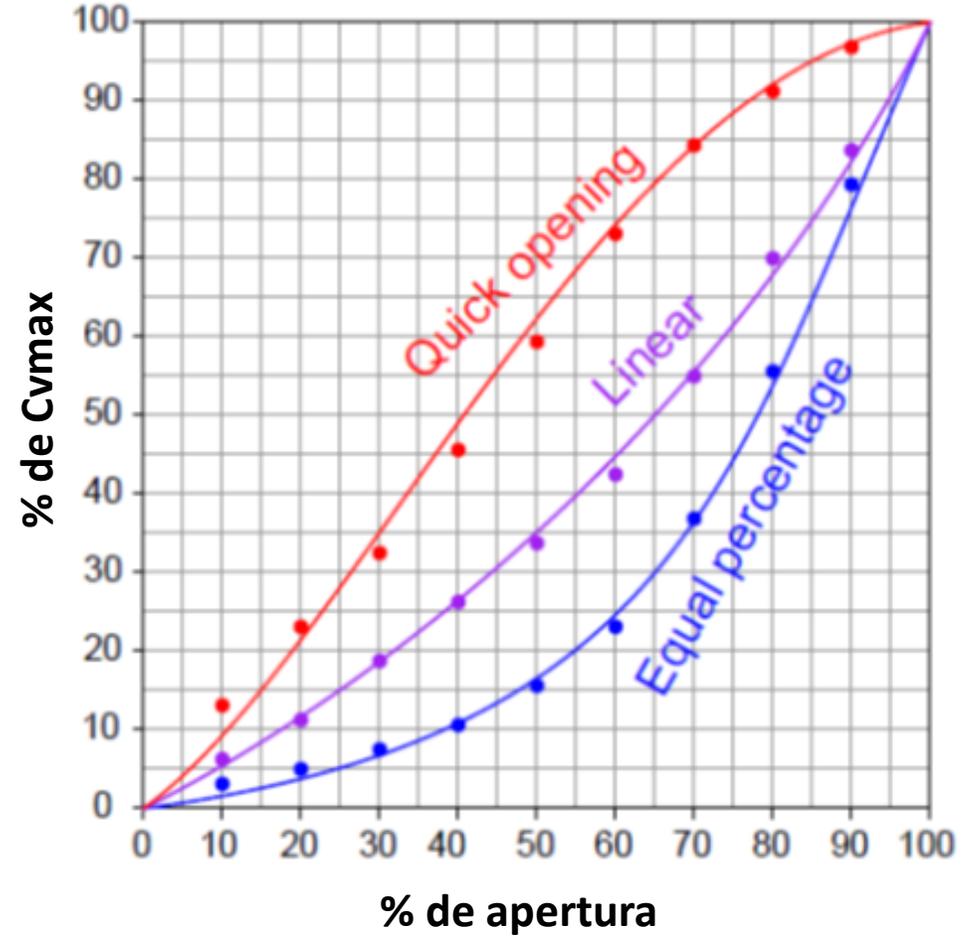
$$\text{lineal } C_v(x) = x C_{vmax}$$

$$\text{igual porcentaje } C_v(x) = C_{vmin} e^{ax}$$

CARACTERÍSTICA DE FLUJO



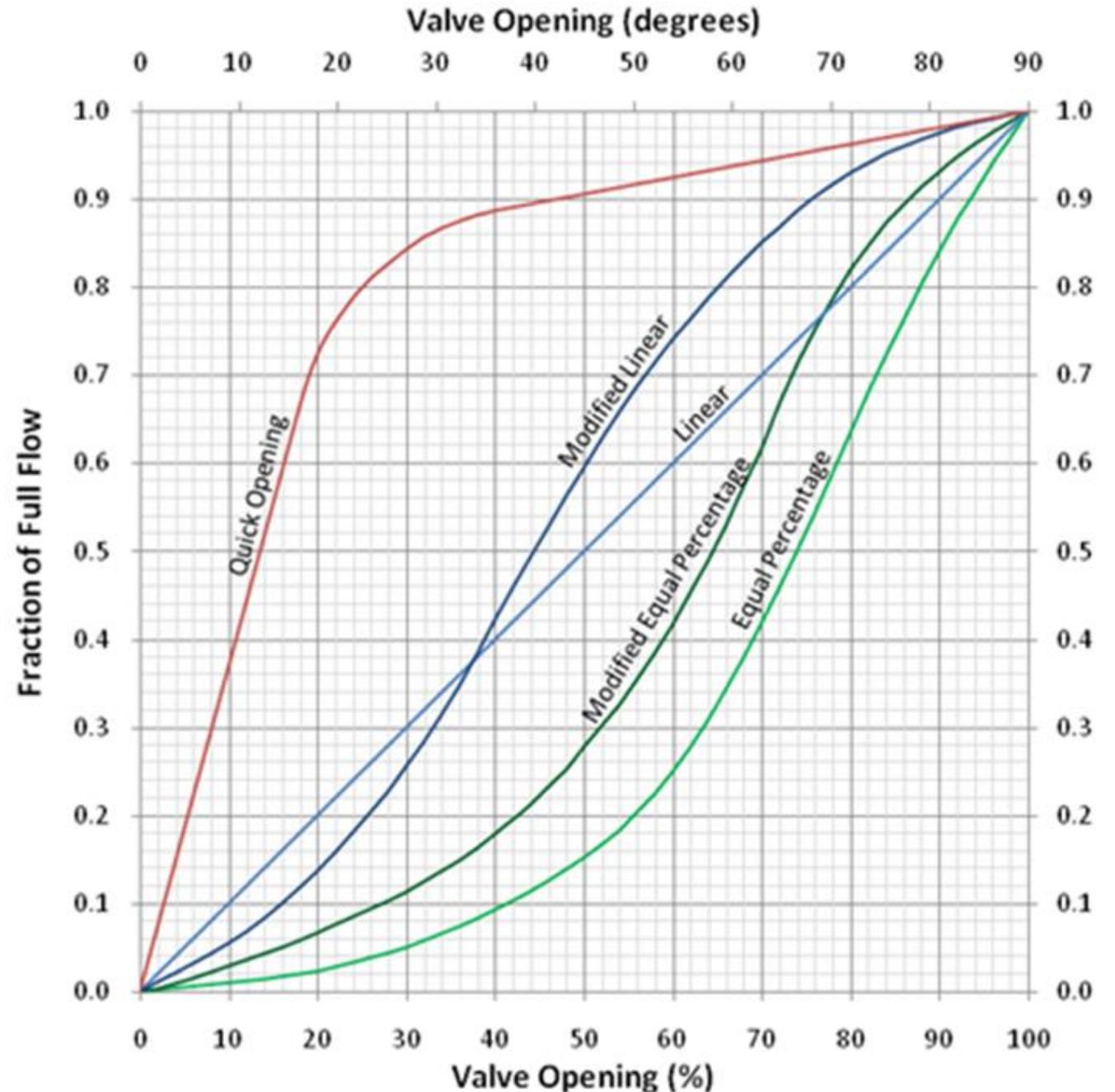
Comparación de características inherentes ideales ("de libro")



Comparación de características inherentes reales ("de fabricante")

CARACTERÍSTICAS INHERENTES DE FLUJO

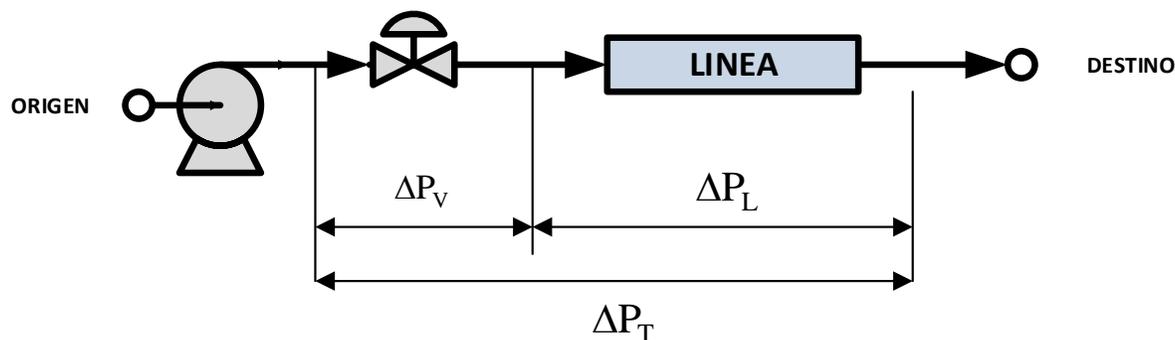
La **Característica Inherente de Flujo**, es muy importante ya que determina si la ganancia de la válvula varía con la apertura.



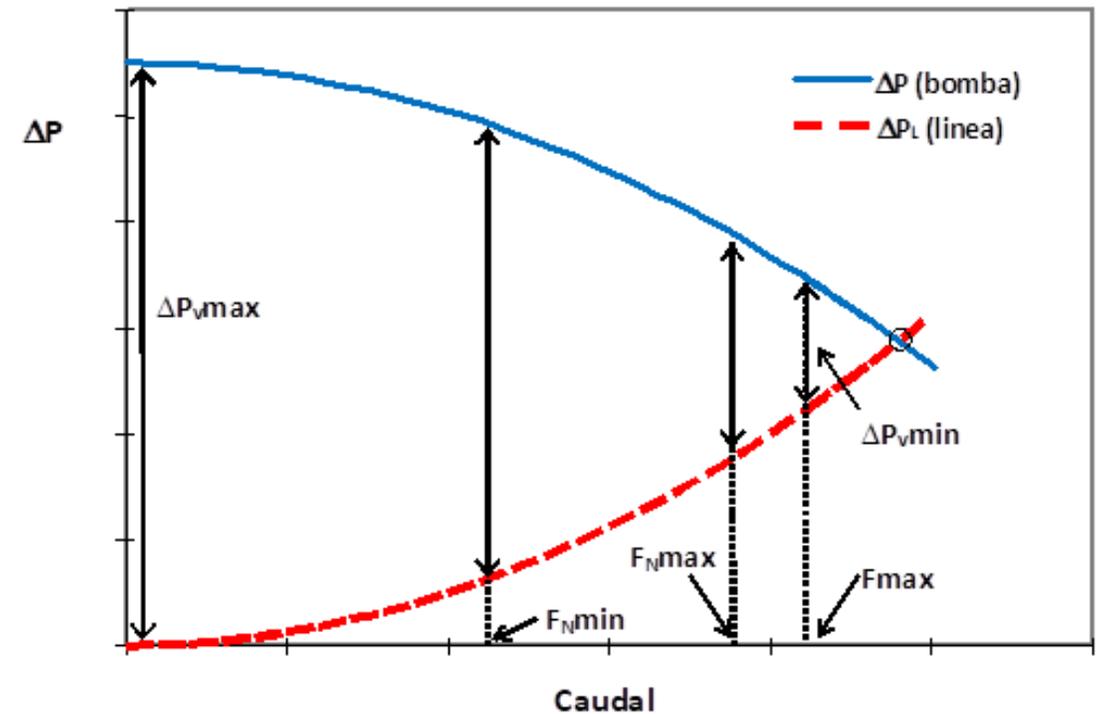
CARACTERÍSTICA DE FLUJO

La **Característica de Flujo Instalada** es la relación flujo apertura de la válvula en la línea en las condiciones de trabajo.

Cuando una válvula de control se instala en una planta de proceso, su característica de flujo depende de la **Característica Inherente** y del resto del sistema. El flujo a través de la válvula está sujeto a resistencia por fricción en la propia válvula.



La pérdida de carga en la válvula (ΔP_V) y la de la línea (ΔP_L) varían con el caudal.



$$F(x) = Cv(x) \sqrt{\frac{\Delta P_V}{\gamma}}$$

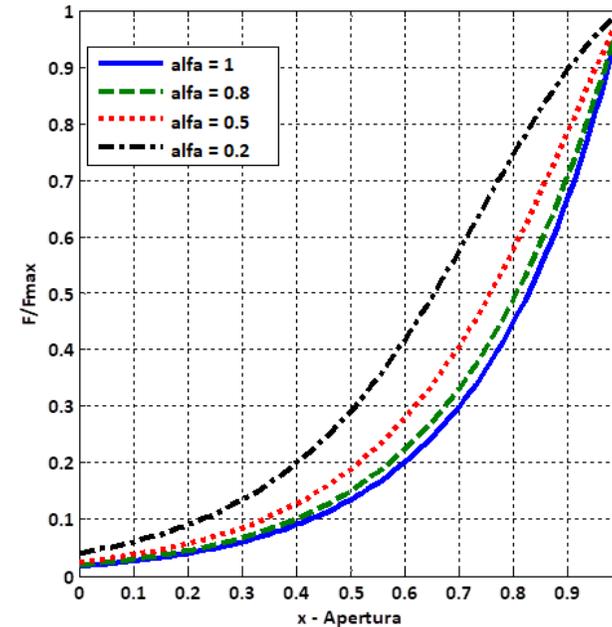
CARACTERÍSTICA DE FLUJO

Para medir la influencia que ejerce la instalación en la característica de flujo de la válvula se define el coeficiente:

$$\alpha = \frac{\Delta P_V(x = 1)}{\Delta P_V(x = 0)} = \frac{\Delta P_V min}{\Delta P_V max}$$

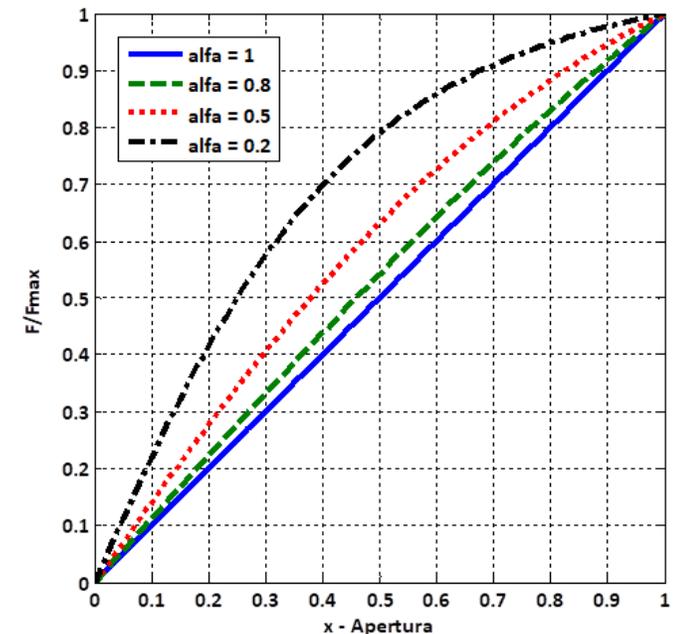
Si $\alpha = 1$ toda la pérdida de carga se concentra en la válvula independientemente del flujo que circule y por lo tanto la línea no tiene ninguna influencia en la característica de flujo. Es equivalente a ΔP_V constante.

Valores decrecientes de α indican una creciente incidencia de la instalación.



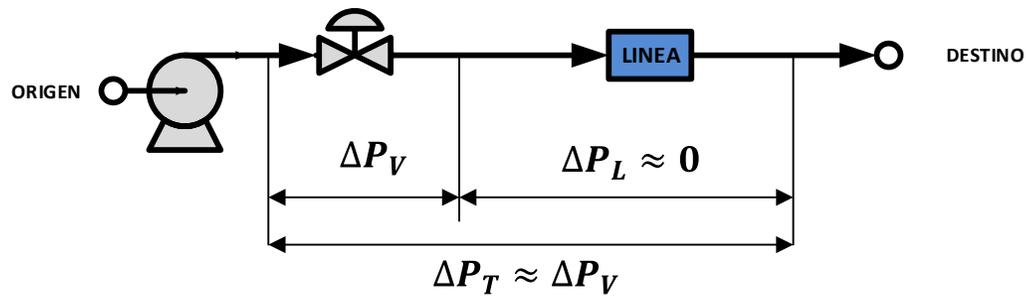
Influencia de la instalación para una válvula de tipo igual porcentaje

Influencia de la instalación para una válvula de tipo lineal

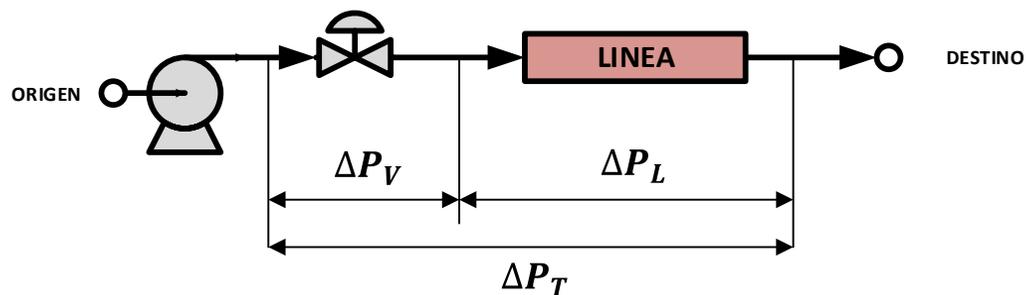


CARACTERÍSTICA DE FLUJO

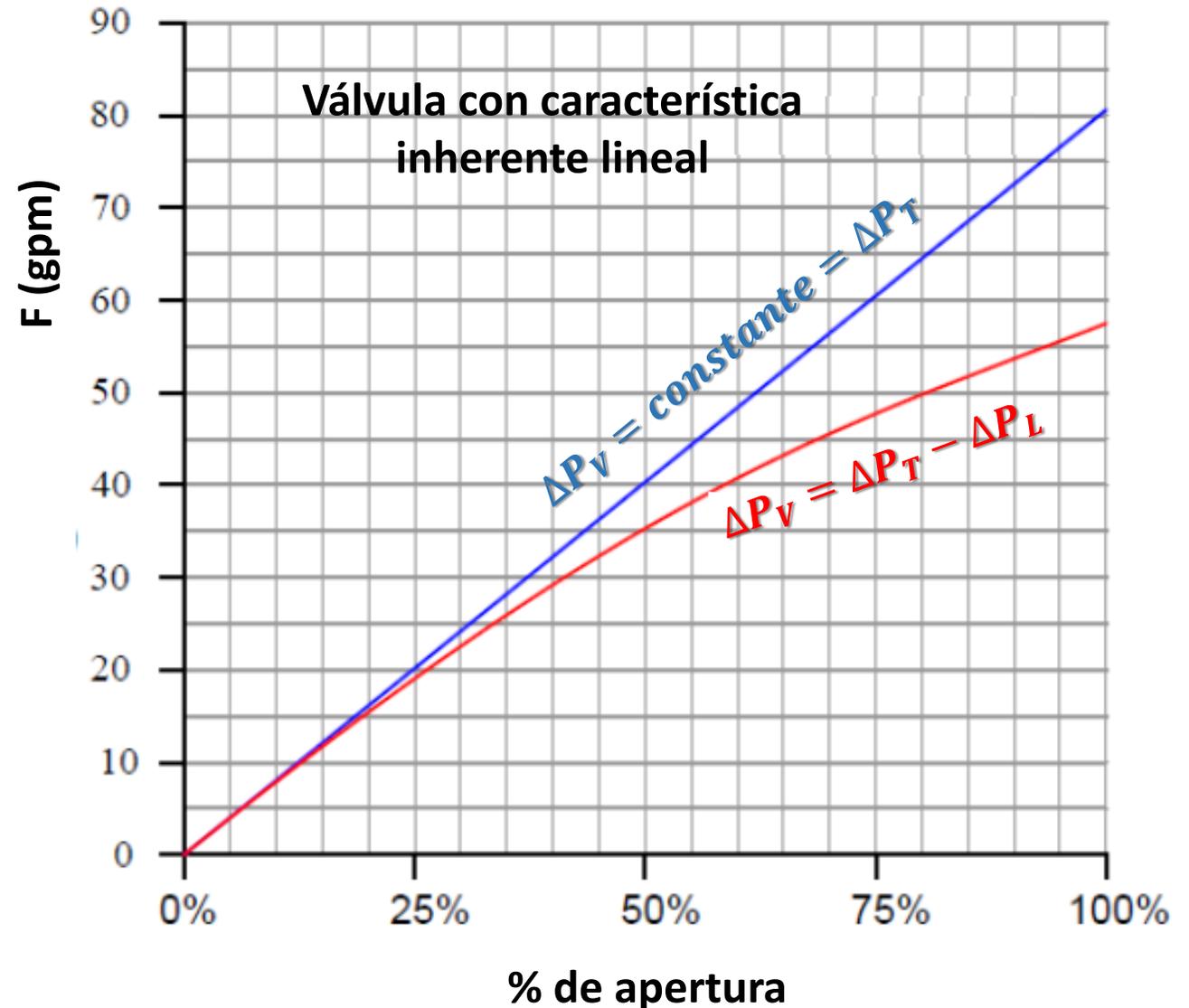
Una visión alternativa, sería comparar el caudal que pasa a través de la válvula para diferentes aperturas en dos escenarios:



$$\Delta P_V = \text{constante} = \Delta P_T$$



$$\Delta P_V = \Delta P_T - \Delta P_L$$



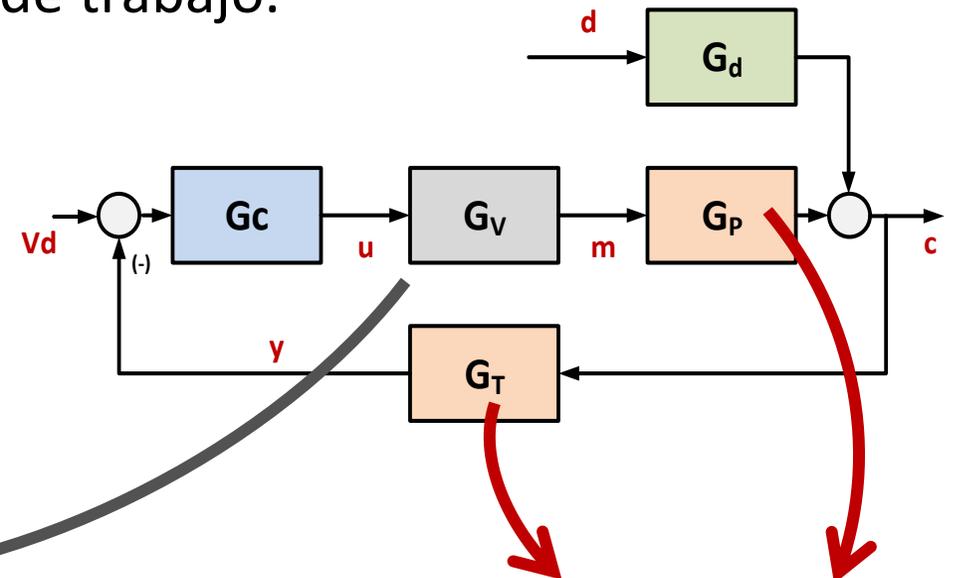
ELECCIÓN DE LA CARACTERÍSTICA DE FLUJO DE VÁLVULAS

La **característica de flujo instalada** (Característica inherente más factor α) es crucial ya que determina la ganancia de estado estacionario de la válvula K_V que puede tener grandes cambios dependiendo del punto particular de trabajo.

Esta propiedad, que a priori podría parecer una desventaja, puede emplearse para “compensar” una no linealidad surgida en otro punto del lazo (proceso o transmisor). **Cuando es posible:**

La característica de flujo de la válvula de control debe elegirse de modo tal que el sistema de control tenga el comportamiento dinámico más lineal posible.

$$K_V = K_A \frac{\partial F}{\partial x}$$



Si las funciones de transferencia cambian (sistemas no lineales), cambiarán las condiciones de estabilidad del lazo

ELECCIÓN DE LA CARACTERÍSTICA DE FLUJO DE VÁLVULAS

Si no se puede hacer el análisis técnico propuesto, existen en manuales de instrumentación o publicaciones técnicas de fabricantes heurísticos para la selección de la característica de flujo más apropiada. La siguiente fue extraída de *Béla G. Lipták (Editor), Instrument Engineers' Handbook – Volume II: Process Control and Optimization, Fourth Edition, CRC, New York (2006)*.

TABLE 6.1g

Recommendations on Selecting Control Valve Characteristics for Flow, Level, and Pressure Control Loops‡

LIQUID LEVEL SYSTEMS

<i>Control Valve Pressure Drop</i>	<i>Best Inherent Characteristic</i>
Constant ΔP	Linear
Decreasing ΔP with increasing load, ΔP at maximum load > 20% of minimum load ΔP	Linear†
Decreasing ΔP with increasing load, ΔP at maximum load < 20% of minimum load ΔP	Equal-percentage
Increasing ΔP with increasing load, ΔP at maximum load < 200% of minimum load ΔP	Linear
Increasing ΔP with increasing load, ΔP at maximum load > 200% of minimum load ΔP	Quick-opening

TABLE 6.1g*Recommendations on Selecting Control Valve Characteristics for Flow, Level, and Pressure Control Loops‡***(cont.)**

<i>PRESSURE CONTROL SYSTEMS</i>			
<i>Application</i>		<i>Best Inherent Characteristic</i>	
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 a receiver, distribution system, or transmission line exceeding 100 ft of nominal pipe volume), decreasing ΔP with increasing load, ΔP at maximum load > 20% of minimum load ΔP		Linear†	
Gas process, large volume, decreasing ΔP with increasing load ΔP at maximum load < 20% of minimum load ΔP		Equal-percentage	
<i>FLOW CONTROL PROCESSES</i>			
<i>Flow Measurement Signal to Controller</i>	<i>Location of Control Valve Relation to Measuring Element</i>	<i>Best Inherent Characteristic</i>	
		<i>Wide Range of Flow Setpoint</i>	<i>Small Range of Flow but Large ΔP Change at Valve with Increasing Load</i>
Proportional to Q	In series	Linear	Equal-percentage†
Proportional to Q	In bypass*	Linear	Equal-percentage
Proportional to Q^2 (orifice)	In series	Linear†	Equal-percentage
Proportional to Q^2 (orifice)	In bypass*	Equal-percentage	Equal-percentage

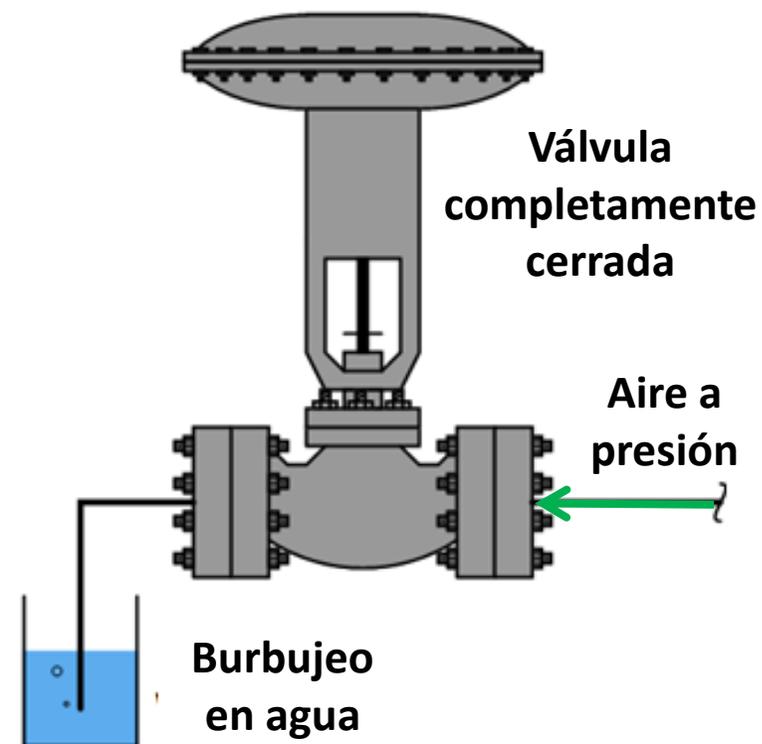
CAUDAL DE FUGA

Muchas válvulas de control trabajan prácticamente todo el tiempo en un estado parcialmente abierto y rara vez se abren o se cierran completamente. De hecho no están pensadas para bloqueo total.

Algunos tipos de válvulas, como las de doble asiento, tienen serias dificultades para un cierre hermético y cuando reciben señal de cierre total, dejan pasar cantidades mínimas de fluido (caudal de fuga - leakage rate).

Class	Maximum allowable leakage rate	Test pressure drop
I	(no specification given)	(no specification given)
II	0.5% of rated flow capacity, air or water	45-60 PSI or max. operating
III	0.1% of rated flow capacity, air or water	45-60 PSI or max. operating
IV	0.01% of rated flow capacity, air or water	45-60 PSI or max. operating
V	0.0005 ml/min water per inch orifice size per PSI	Max. operating
VI	Bubble test, air or nitrogen	50 PSI or max. operating

Test para determinar caudal de fuga

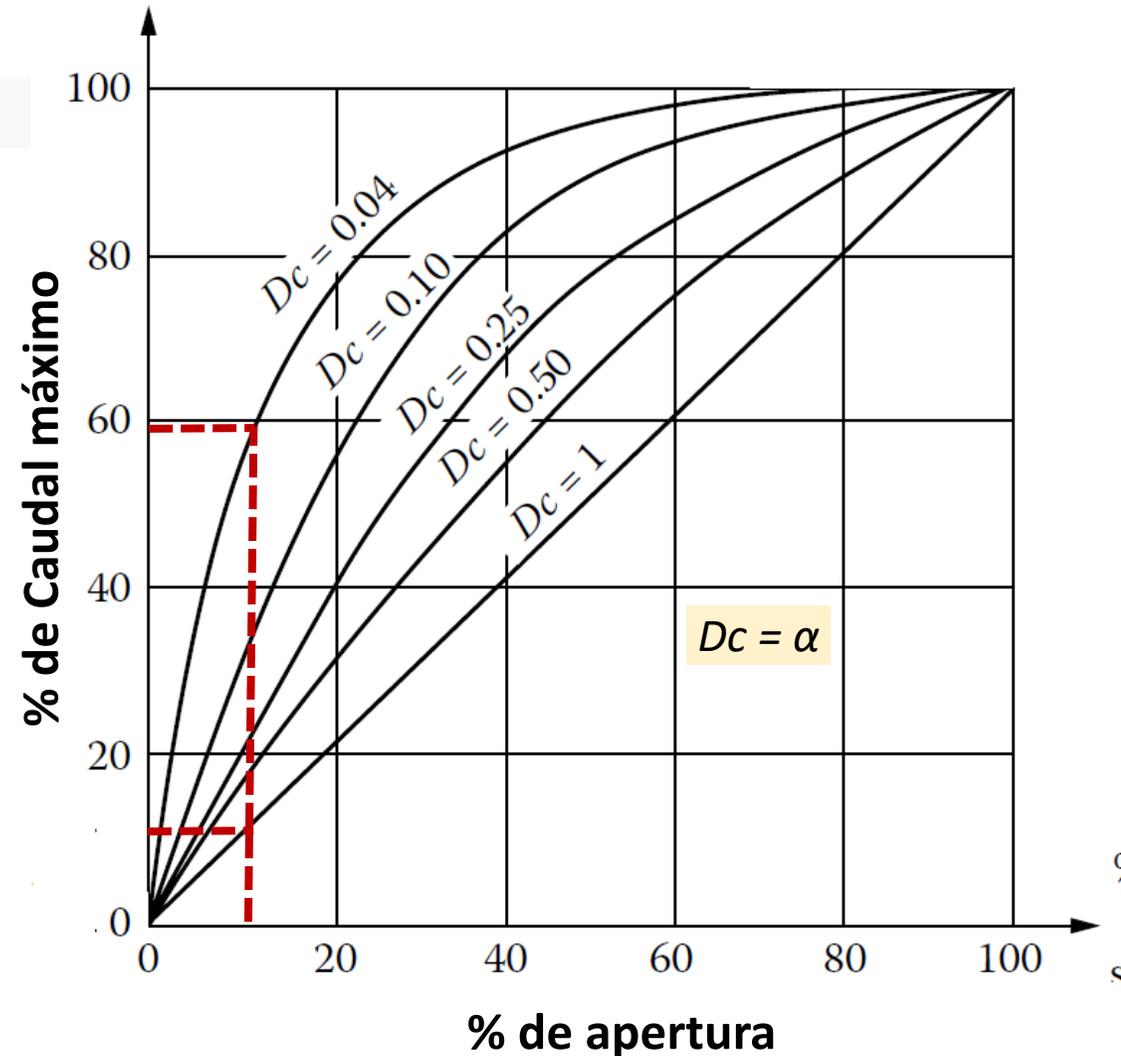


RANGEABILIDAD

Rangeabilidad (definición convencional de los fabricantes) es la **relación entre el máximo y el mínimo Flujo "controlable" a través de la válvula** (a ΔP_V constante):

$$R = \frac{F_{Max}}{F_{min}} = \frac{Cv_{Max}}{Cv_{min}}$$

El flujo máximo corresponde a apertura total y el mínimo es *el flujo por debajo del cual la válvula tiende a cerrarse y pierde la capacidad de regulación* (no se refiere al caudal de fuga). Valores típicos de R informados por fabricantes son **50:1** (igual porcentaje), **33:1** (lineal) y **menos de 10:1** (apertura rápida).



Rangeabilidad "real"

$$R = \frac{F_{Max}}{F_{min}} \cong \frac{Cv_{Max}}{Cv_{min}} \sqrt{\alpha}$$

ESPECIFICACIÓN DE VÁLVULAS DE CONTROL

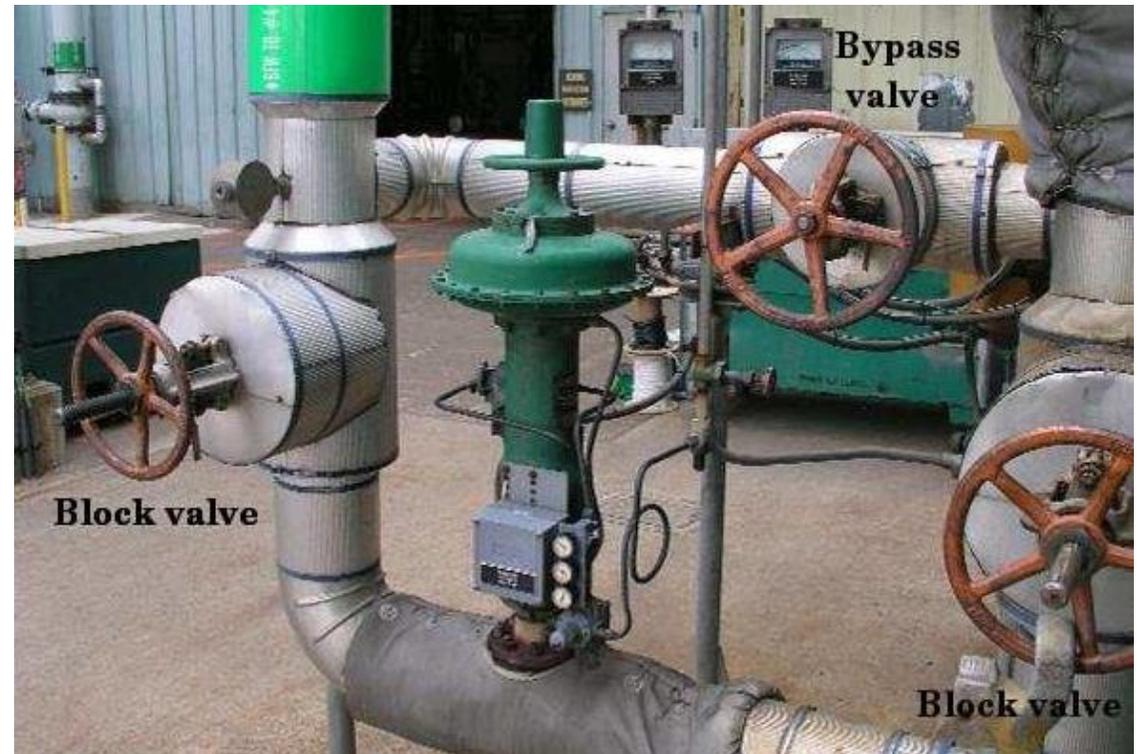
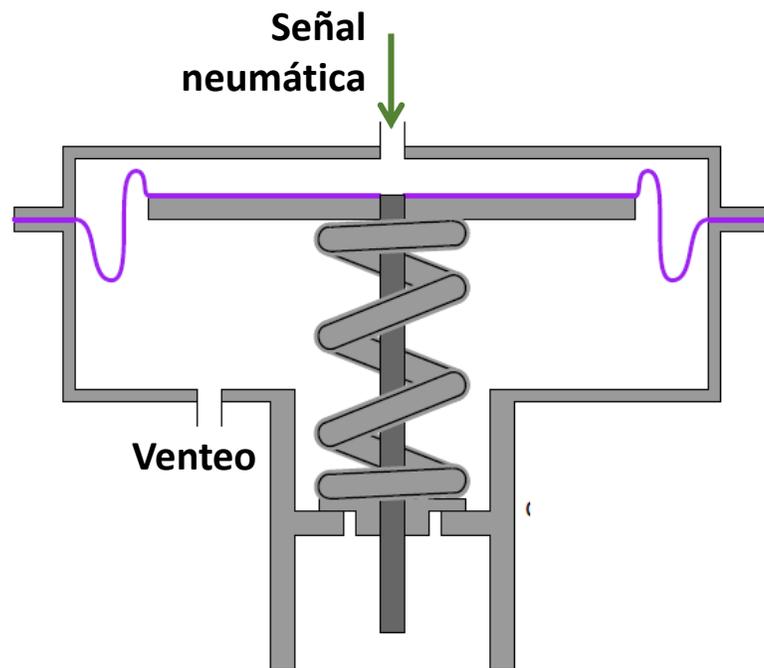
- I. **Cuerpo e internos:** indicando el tipo, material y serie que se fija de acuerdo al servicio que debe prestar.
- II. **Dimensionamiento:** significa determinar el diámetro, que está relacionado con la capacidad.
- III. **Característica de Flujo:** en algunos casos, según el tipo de válvula, se puede especificar la característica de flujo
- IV. **Actuador:** una vez conocidos los detalles del cuerpo se debe elegir el tipo de motor (neumático de cabezal o pistón, eléctrico, etc.), la acción ante falla y el tamaño.
- V. **Accesorios:** corresponde a elementos adicionales como transductores I/P o V/P, volante para accionamiento manual, posicionador, etc.



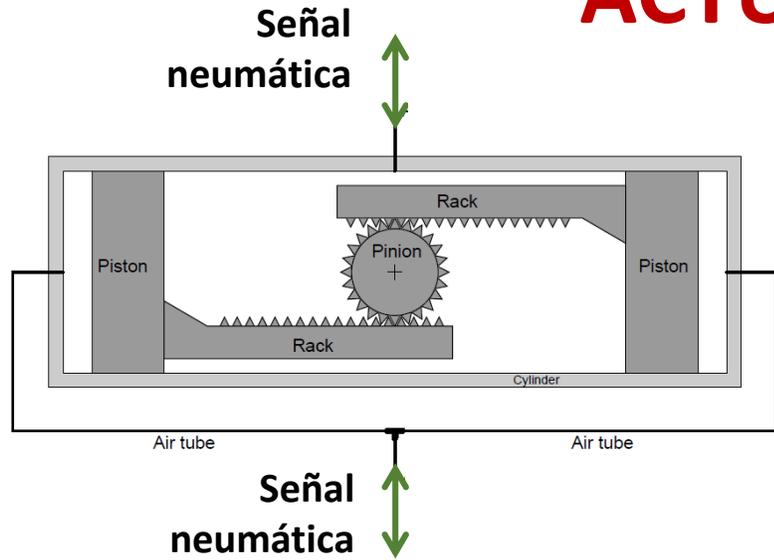
ACTUADORES DE VÁLVULAS

El actuador de una válvula proporciona la fuerza motriz necesaria para el movimiento del vástago siguiendo una señal de control (neumática, hidráulica, eléctrica o digital).

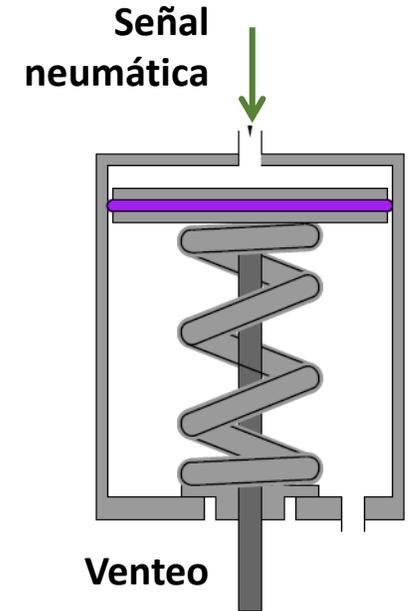
- ❑ **Actuador neumático de cabezal.** Se basa en la interacción resorte-diafragma. Para válvulas lineales como rotativas. De costo moderado y gran confiabilidad. Es el tipo más difundido en la actualidad.



ACTUADORES DE VÁLVULAS



- Actuador neumático de pistón. Similar al anterior, de mayor costo, aplicable en servicios que requieren esfuerzos importantes.



ACTUADORES DE VÁLVULAS

- ❑ **Actuador hidráulico.** Reservado para casos en que se requiere grandes esfuerzos mecánicos



- ❑ **Actuador eléctrico.** Hay de diversos tipos. Los más comunes son motores paso a paso usados en algunas válvulas rotativas.

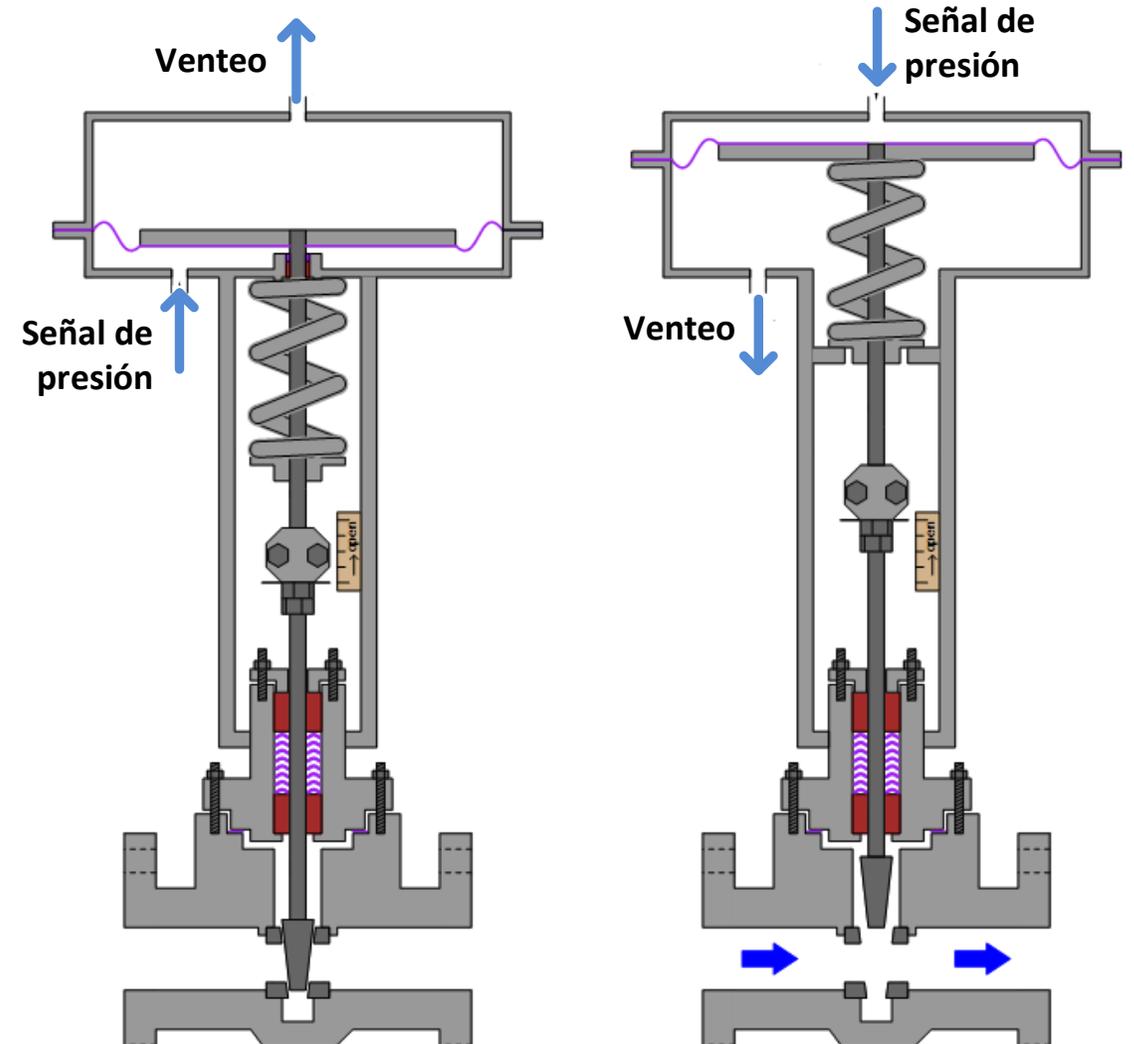
- ❑ **Actuador electromecánico.** Uno de los tipos de mayor uso es el motor de giro reversible que con transmisión mecánica apropiada motoriza válvulas de gran porte.



ACCIÓN DE VÁLVULAS

La conexión del actuador con el cuerpo de la válvula admite dos posibilidades:

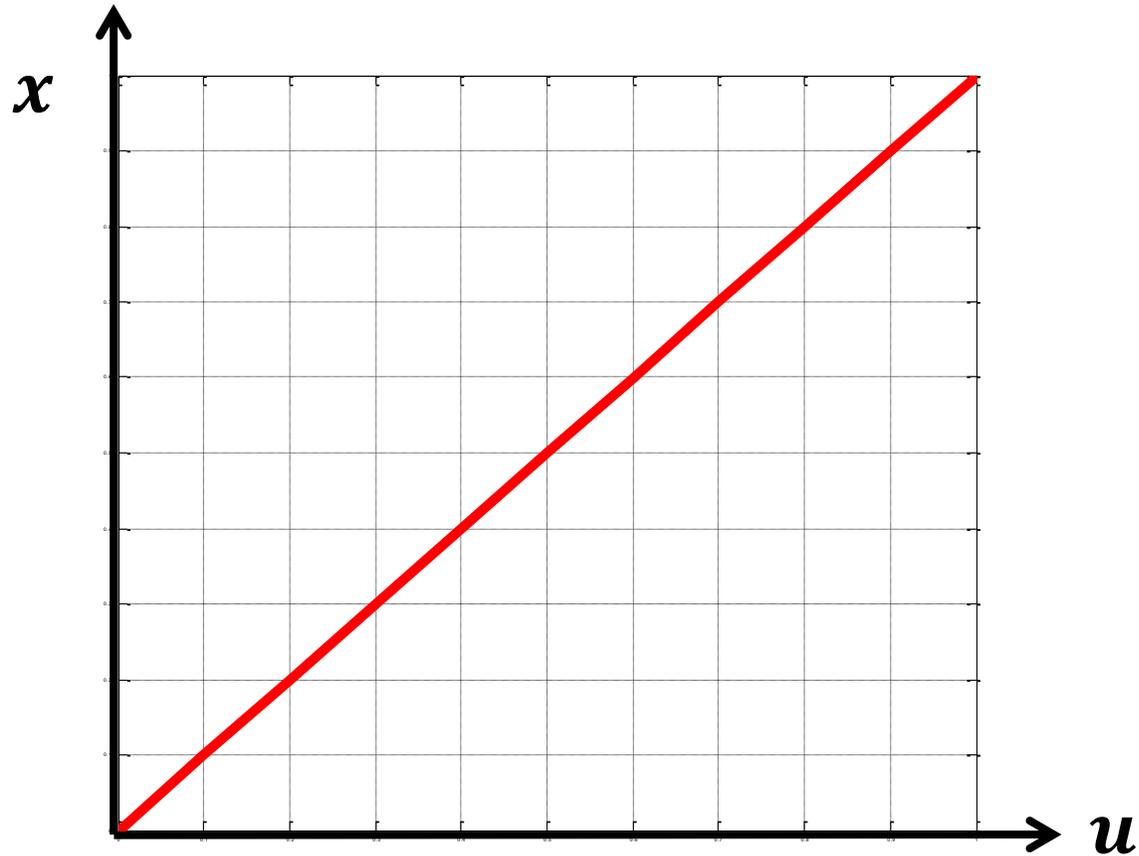
- ❑ **Normal Cerrada (N/C) - SAC - FC.** Si falla el suministro de aire, la válvula cierra totalmente. Es equivalente a decir que con señal 0%, el caudal es cero. **Implica que K_v es positiva.**
- ❑ **Normal Abierta (N/A) - SAA - FO.** Si falla el suministro de aire, la válvula abre completamente. Si la señal es 0%, el caudal es el máximo (apertura total). **Implica que K_v es negativa,**



**Normal Cerrada
Sin Aire Cierra
Fail Close**

**Normal Abierta
Sin Aire Abre
Fail Open**

ACCIÓN DE VÁLVULAS



Normal Cerrada – SAC - FC
 $K_v (+)$



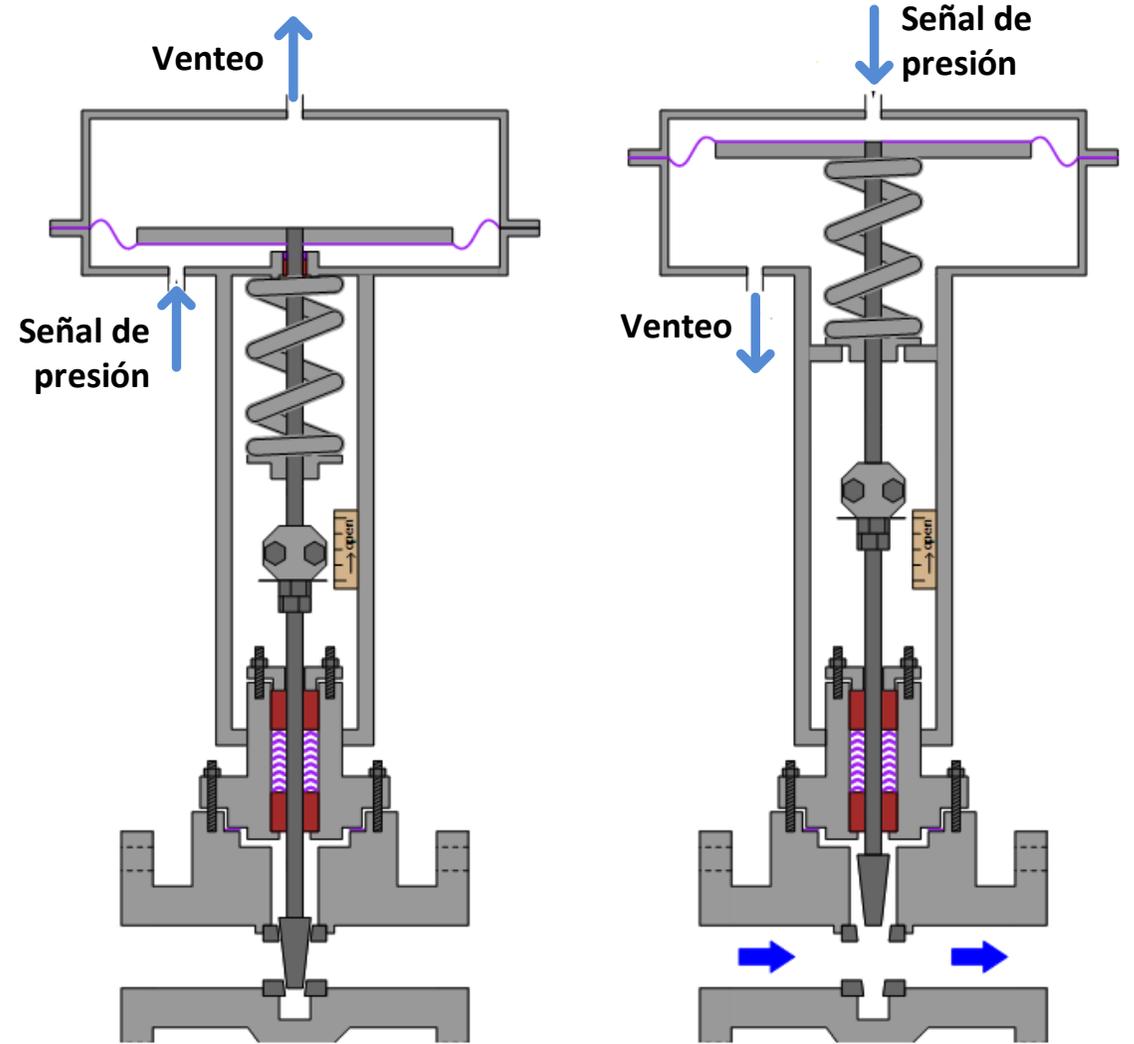
Normal Abierta – SAC - FO
 $K_v (-)$

ACCIÓN DE VÁLVULAS

Como la acción de la válvula depende de la forma en la que se conecta el actuador, esta acción puede ser elegida.

Para elegir la acción de falla, se debe analizar cuál es la **situación más comprometida en caso de falla en el suministro de aire**.

Por ejemplo, si se manipula un combustible, la situación más peligrosa ante un fallo sería que la válvula abra completamente, por lo tanto en este caso debe elegirse N/C.



**Normal Cerrada
Sin Aire Cierra
Fail Close**

**Normal Abierta
Sin Aire Abre
Fail Open**

SELECCIÓN DEL ACTUADOR

Para determinar el tamaño del actuador, se debe analizar el máximo esfuerzo que debe hacer el actuador en operación (normalmente se expresa como una presión). El máximo esfuerzo suele darse en condiciones de cierre, cuando el actuador debe soportar la máxima diferencia de presión.

Para el caso de válvulas mariposa, el mayor esfuerzo puede asociarse a la fuerzas hidrodinámicas, en torno de los 70° de apertura.



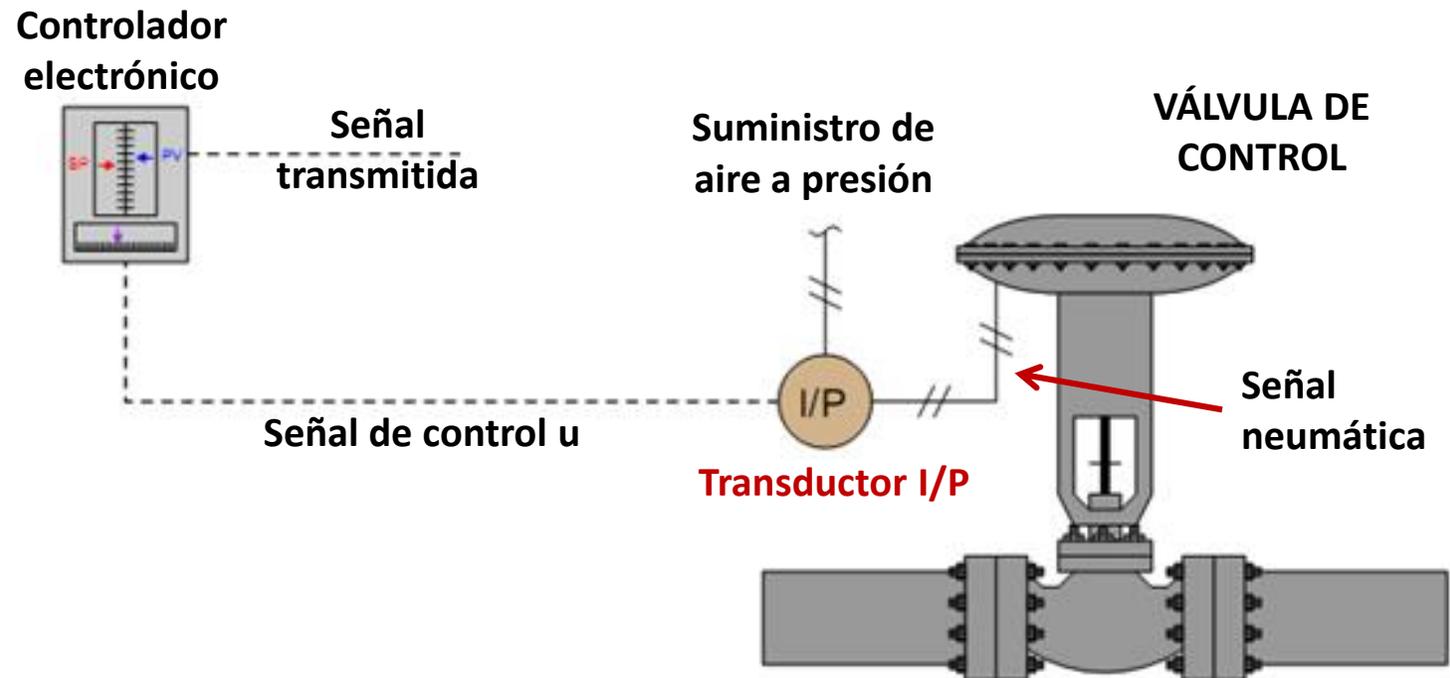
ESPECIFICACIÓN DE VÁLVULAS DE CONTROL

- I. **Cuerpo e internos:** indicando el tipo, material y serie que se fija de acuerdo al servicio que debe prestar.
- II. **Dimensionamiento:** significa determinar el diámetro, que está relacionado con la capacidad.
- III. **Característica de Flujo:** en algunos casos, según el tipo de válvula, se puede especificar la característica de flujo
- IV. **Actuador:** una vez conocidos los detalles del cuerpo se debe elegir el tipo de motor (neumático de cabezal o pistón, eléctrico, etc.), la acción ante falla y el tamaño.
- V. **Accesorios:** corresponde a elementos adicionales como transductores I/P o V/P, volante para accionamiento manual, posicionador, etc.



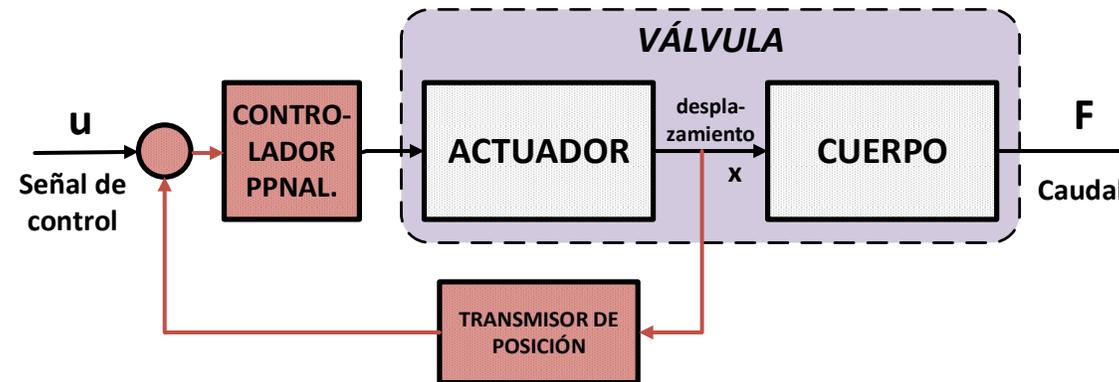
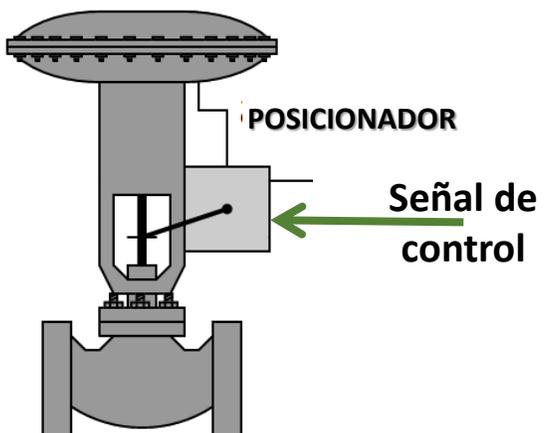
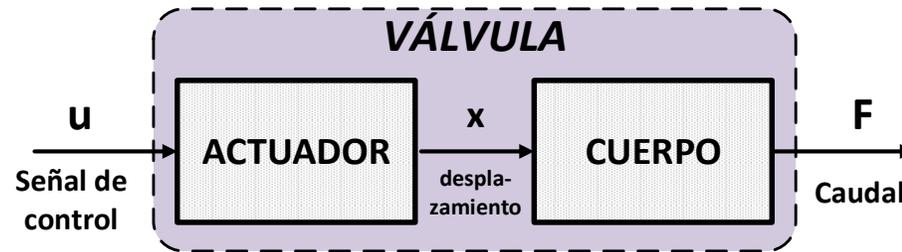
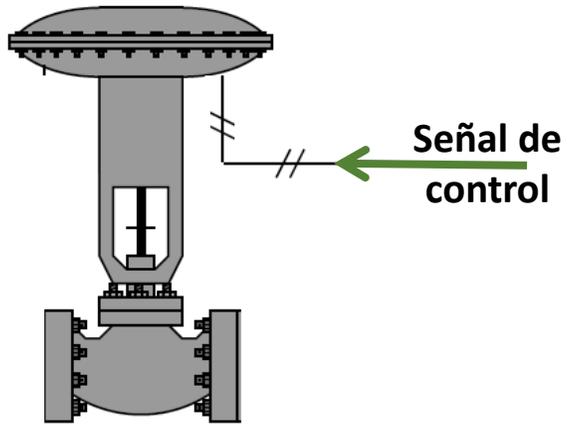
TRANSDUCTOR ELECTRO-NEUMÁTICO

Un elemento adicional que suelen requerir las válvulas de control son los **convertidores electro-neumático** que transforman señales de corriente (**I/P**) o tensión (**E/P**) en señales de presión que necesitan los actuadores. Pueden ser elementos separados o en muchos casos montados directamente en la válvula.



POSICIONADOR DE VÁLVULA

Un **posicionador** es fundamentalmente un sistema de control de la posición del vástago, para asegurar que la señal de control coincida con la señal al actuador.





ACCIONAMIENTO MANUAL ALTERNATIVO

Si bien la válvula de control está pensada para funcionar en una estrategia de control motorizada por señales, hay servicios que son críticos y que pueden requerir manipulación manual en circunstancias especiales.

Un elemento adicional es un volante que permita accionamiento manual de la misma válvula, conmutando de operación automática a manual

Las válvulas autorreguladoras tienen como fin principal «regular y reducir» la presión de entrada de la línea del fluido, a una presión deseada. Cuando éstas válvulas «regulan», lo que hacen es absorber las fluctuaciones producidas aguas arriba (mediante un diafragma y un resorte), evitando así el mal funcionamiento de los equipos colocados aguas abajo.



VÁLVULAS AUTORREGULADORAS

