

Instrumentación Industrial de Procesos

TEMA 7

ELEMENTOS FINALES DE CONTROL

1ra. Parte



Departamento de Ingeniería de Procesos
y Gestión Industrial



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE TUCUMÁN



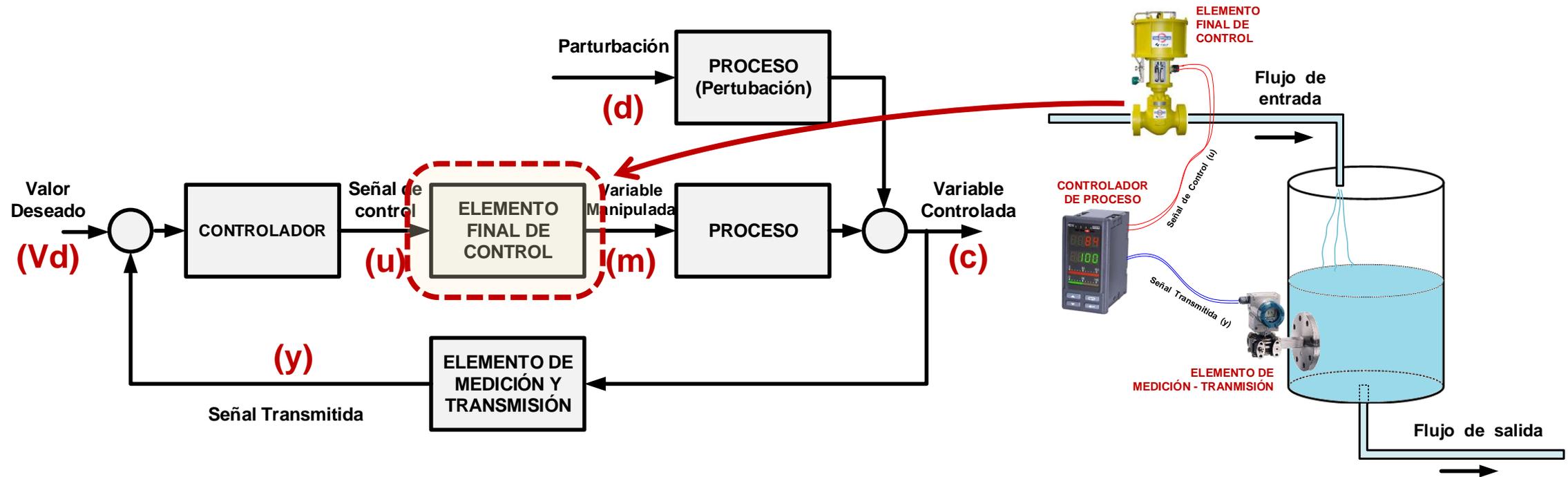
TEMA 7

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

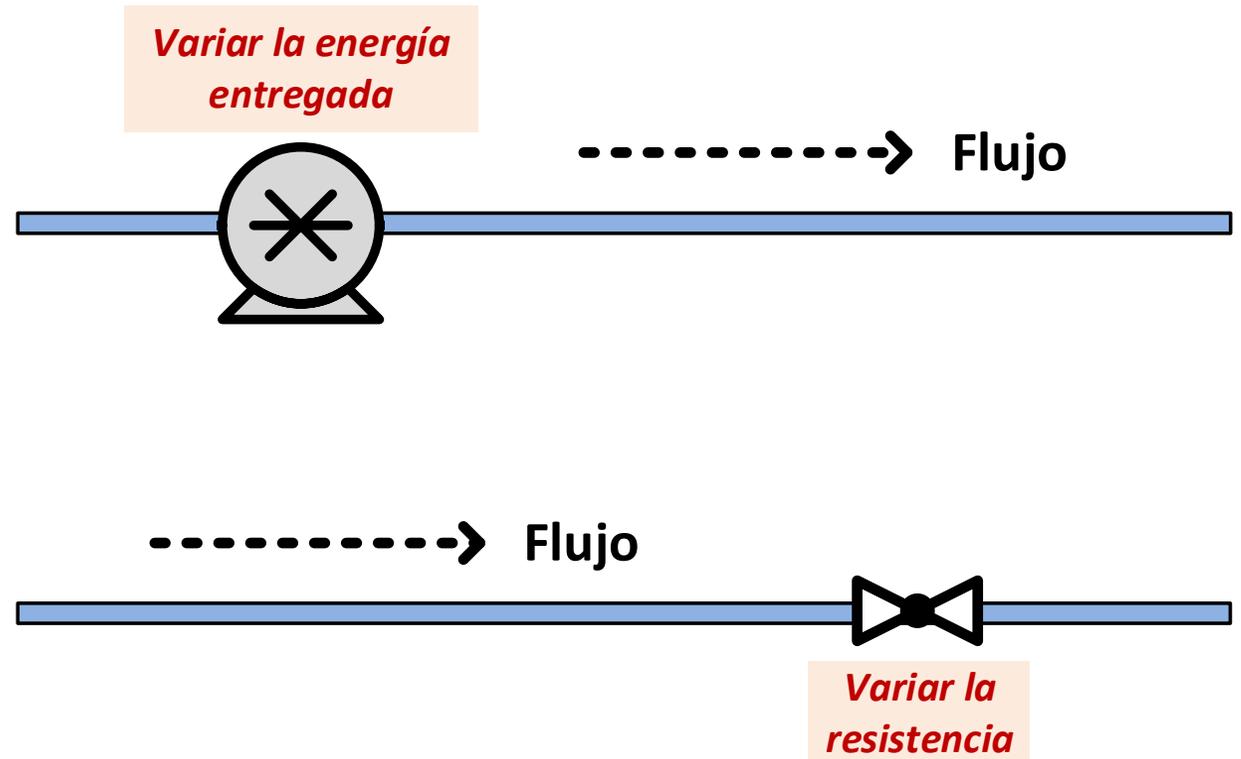


Los elementos finales de control son los **dispositivos encargados de transformar una señal de control en un flujo de masa o energía (variable manipulada)**. Es esta variable manipulada la que incide en el proceso causando cambios de la variable controlada. **Lo más común en procesos es que la manipulación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

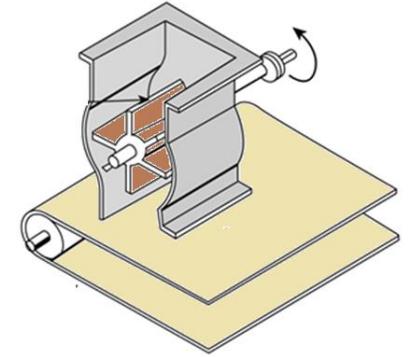
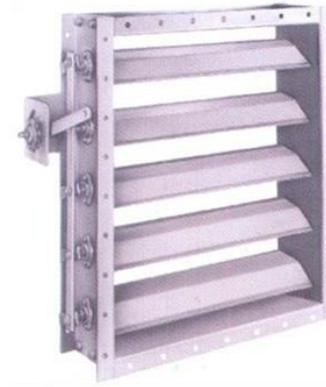
ELEMENTOS FINALES DE CONTROL

Para ajustar el flujo de fluidos en una línea existen primariamente **dos mecanismos**:

- ❑ **Modificar la energía entregada al fluido** (bombas y ventiladores de velocidad variable)
- ❑ **Modificar la resistencia al paso del fluido** (válvulas, registros en ductos de gases)



ELEMENTOS FINALES DE CONTROL



De los diversos elementos finales de control, el de más amplia difusión es la **válvula automática con actuadores neumáticos o eléctricos**. Pero también están los siguientes tipos:

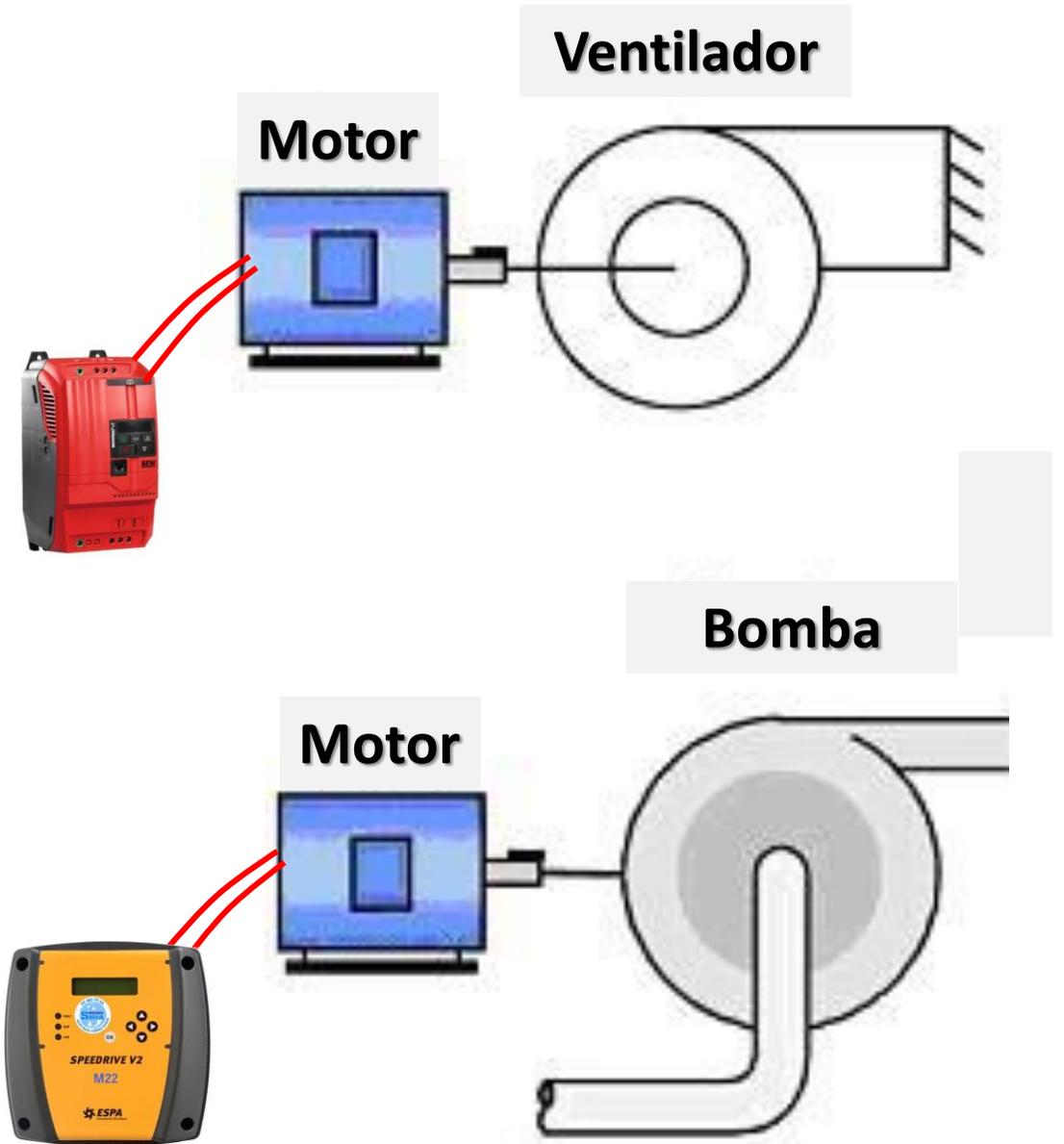
- Bomba con motor de velocidad variable
- Bombas dosificadoras
- Registros para conductos de circulación de aire o gases

- Ventiladores con accionamiento de velocidad variable
- Contactos para resistencias eléctricas
- Válvulas rotatorias para sólidos
- Válvulas de cuchilla para sólidos
- Esparcidores de paletas para sólidos
- Cinta transportadora de sólidos

BOMBAS Y VENTILADORES DE VELOCIDAD VARIABLE

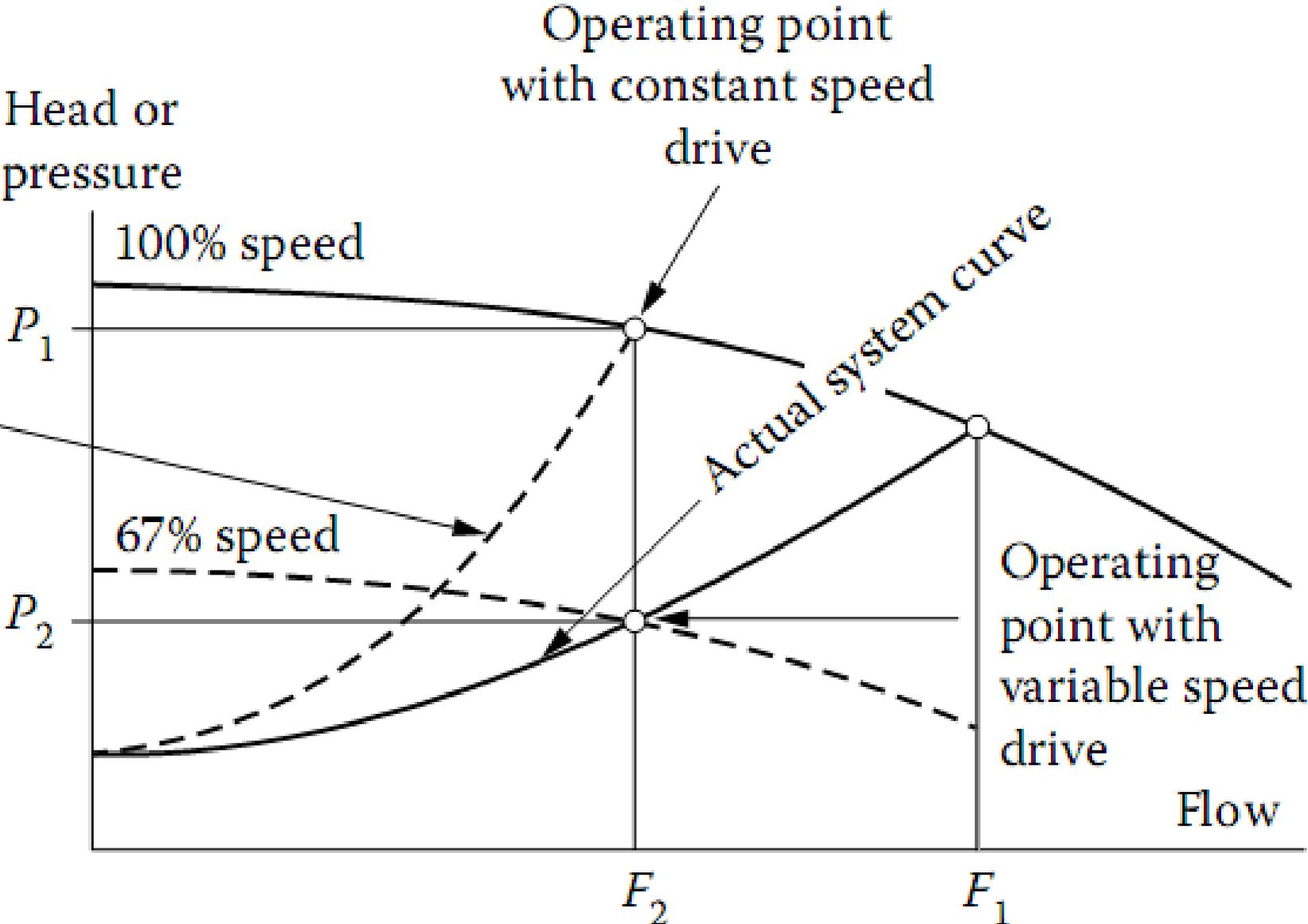
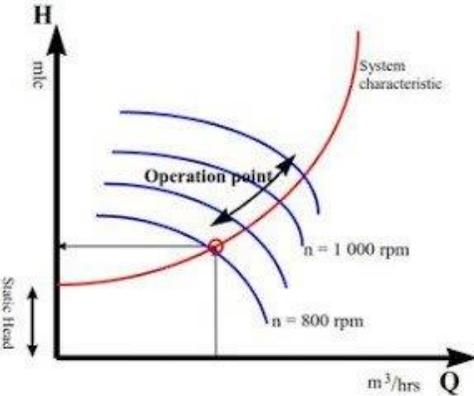
Existen dispositivos que permiten **variar la velocidad** de giro de motores. Estos variadores pueden responder a señales de control estandarizadas.

De esta forma, variando la velocidad, se puede cambiar el caudal impulsado por bombas (líquidos) y ventiladores (gases a bajas presiones).



BOMBAS DE VELOCIDAD VARIABLE

System curve when valve wastes excess energy



BOMBAS DOSIFICADORAS

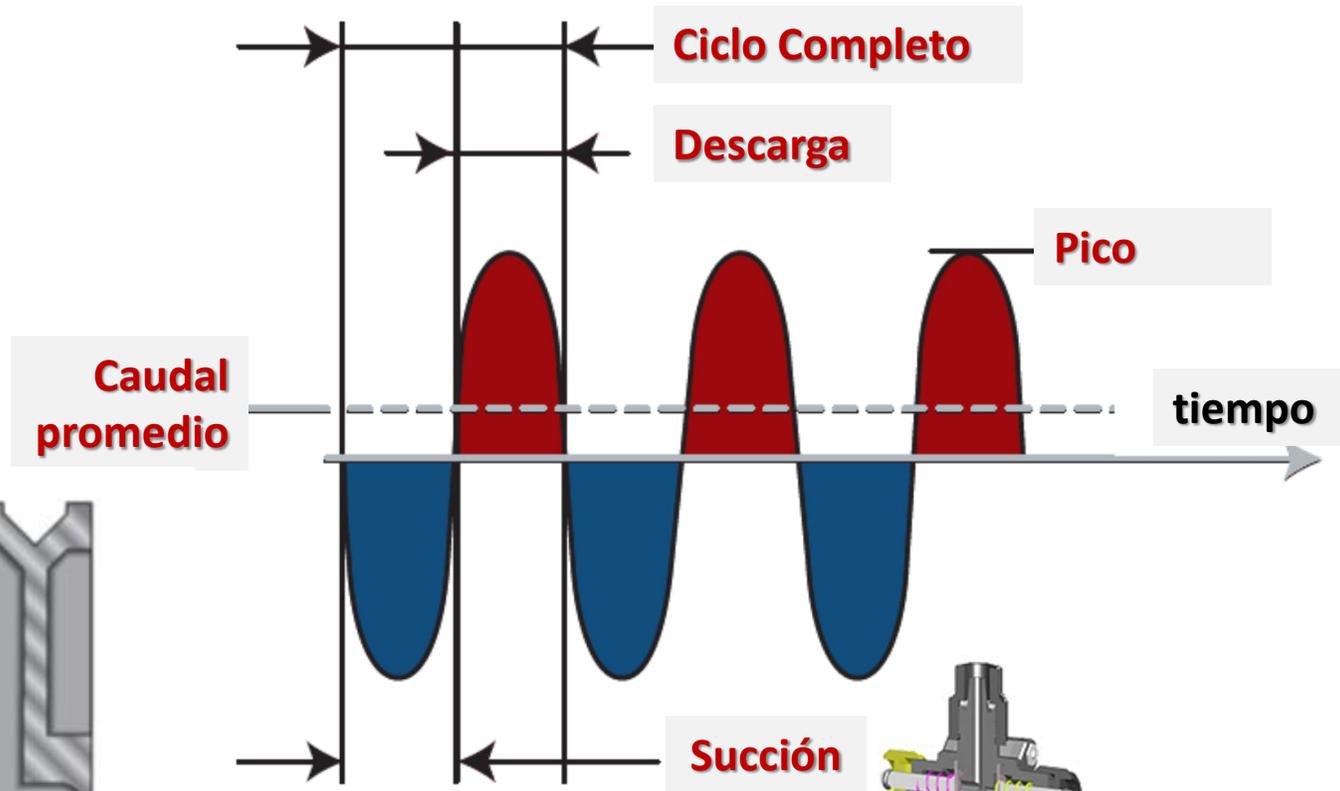
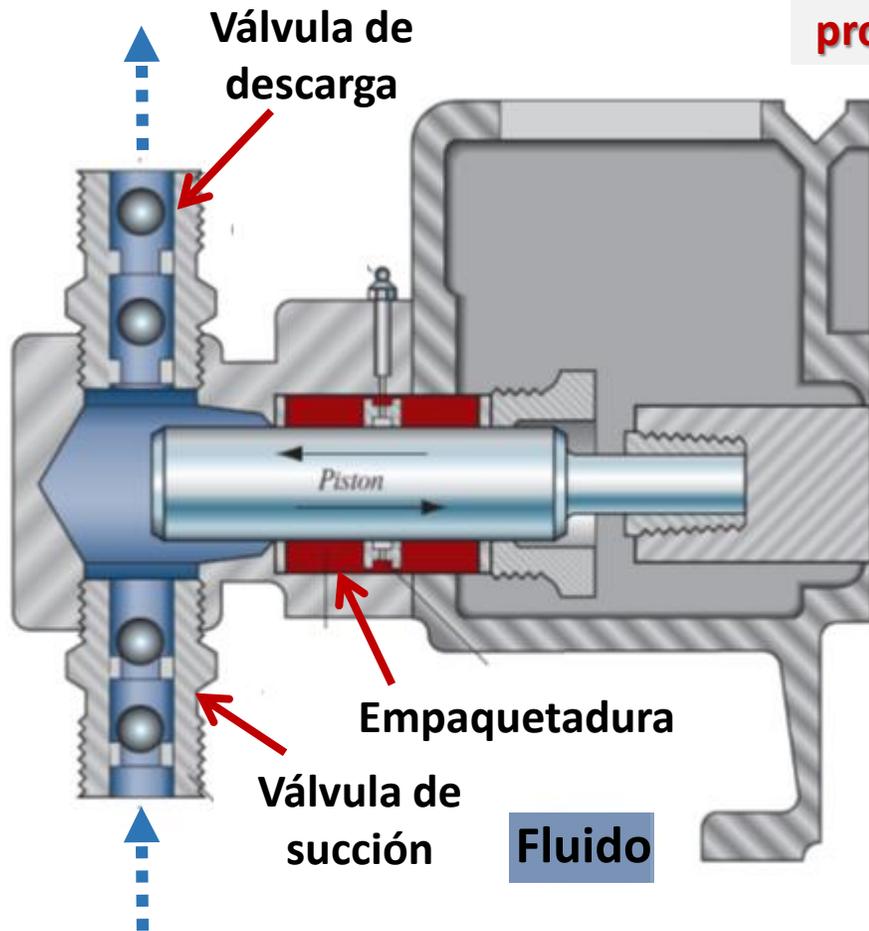
Un método muy común para controlar directamente los **pequeños caudales** de fluidos es utilizar un dispositivo conocido como **bomba dosificadora**. Consiste en un mecanismo de bomba, motor y componentes electrónicos en una misma unidad.

Existen bombas cuyo caudal se fija manualmente y otras que admiten **señales estandarizadas** para variación continua.

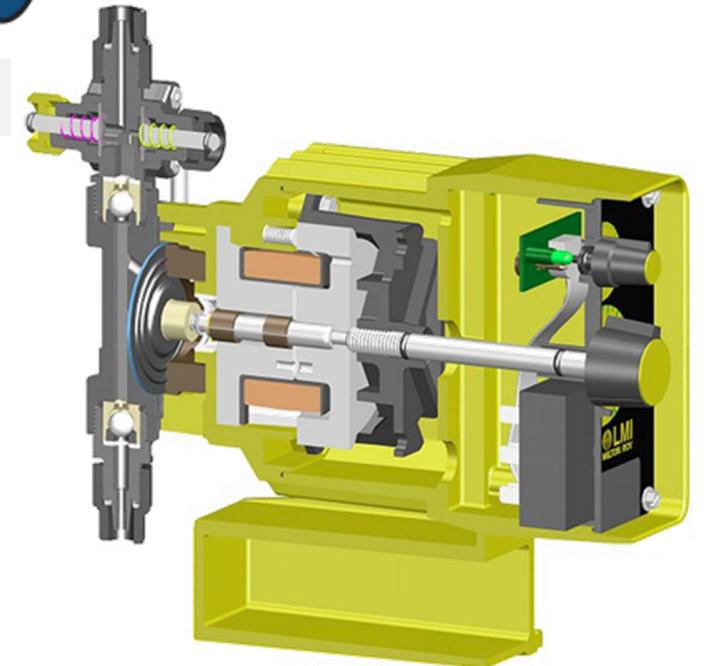
Las bombas dosificadoras se utilizan comúnmente en los procesos de tratamiento de agua para inyectar pequeñas cantidades de coagulantes, desinfectantes, líquidos para la neutralización del pH, productos químicos para el control de la corrosión, etc.



BOMBAS DOSIFICADORAS



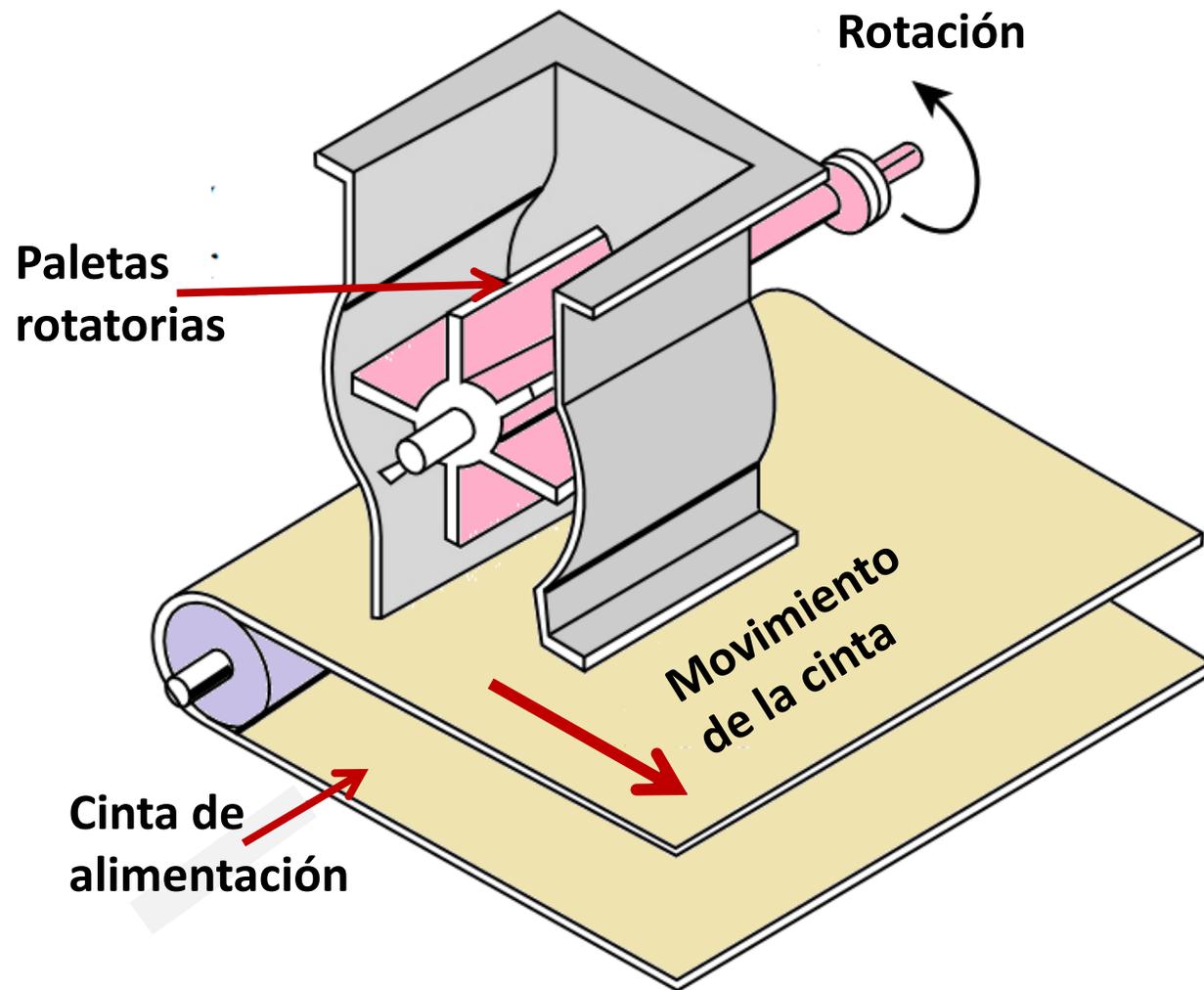
Son bombas de desplazamiento positivo (alternativas).



ELEMENTOS PARA MANEJO DE FLUJO DE SÓLIDOS



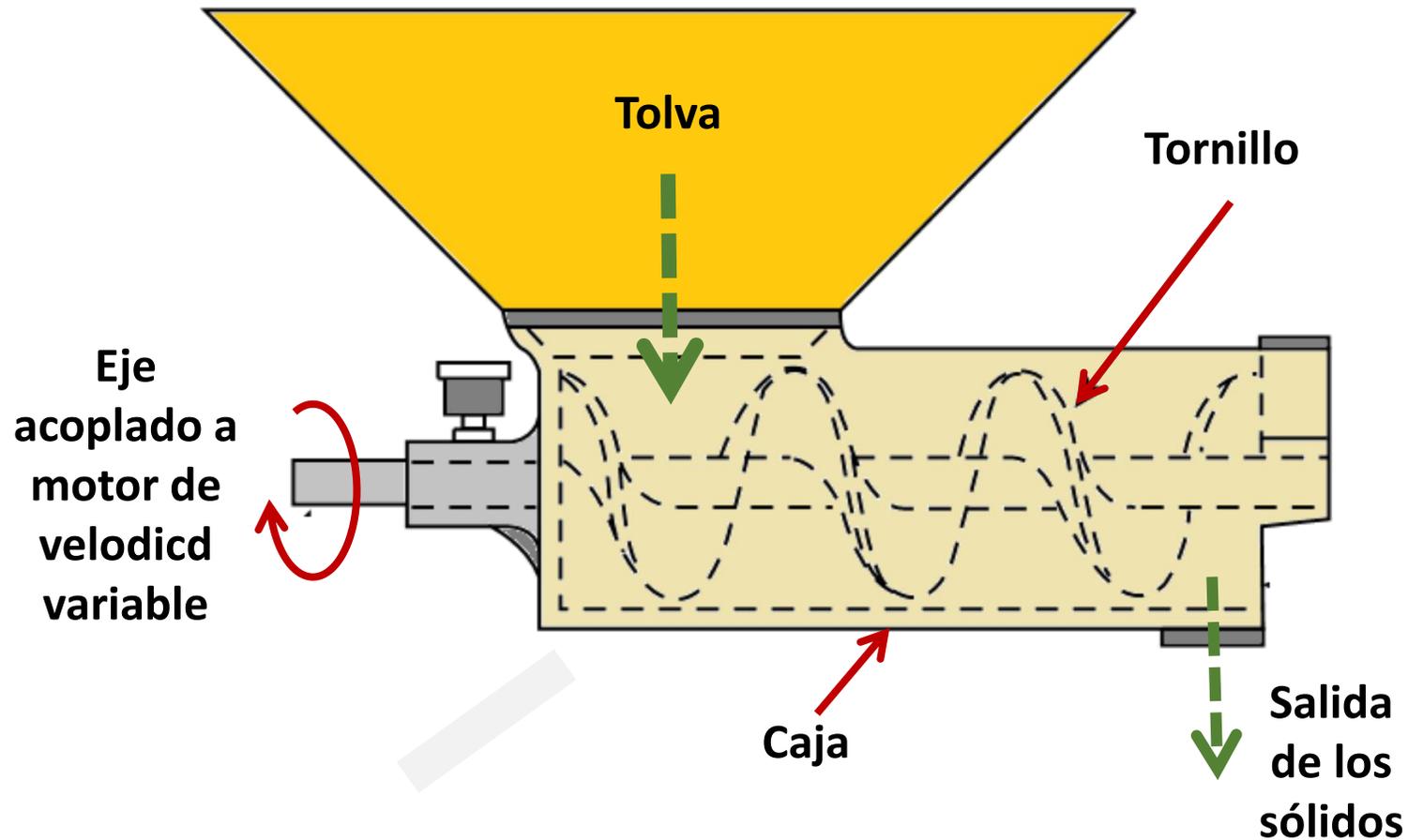
La velocidad de rotación de las paletas fijan el caudal. La velocidad de la cinta establece la altura del colchón.



ELEMENTOS PARA MANEJO DE FLUJO DE SÓLIDOS

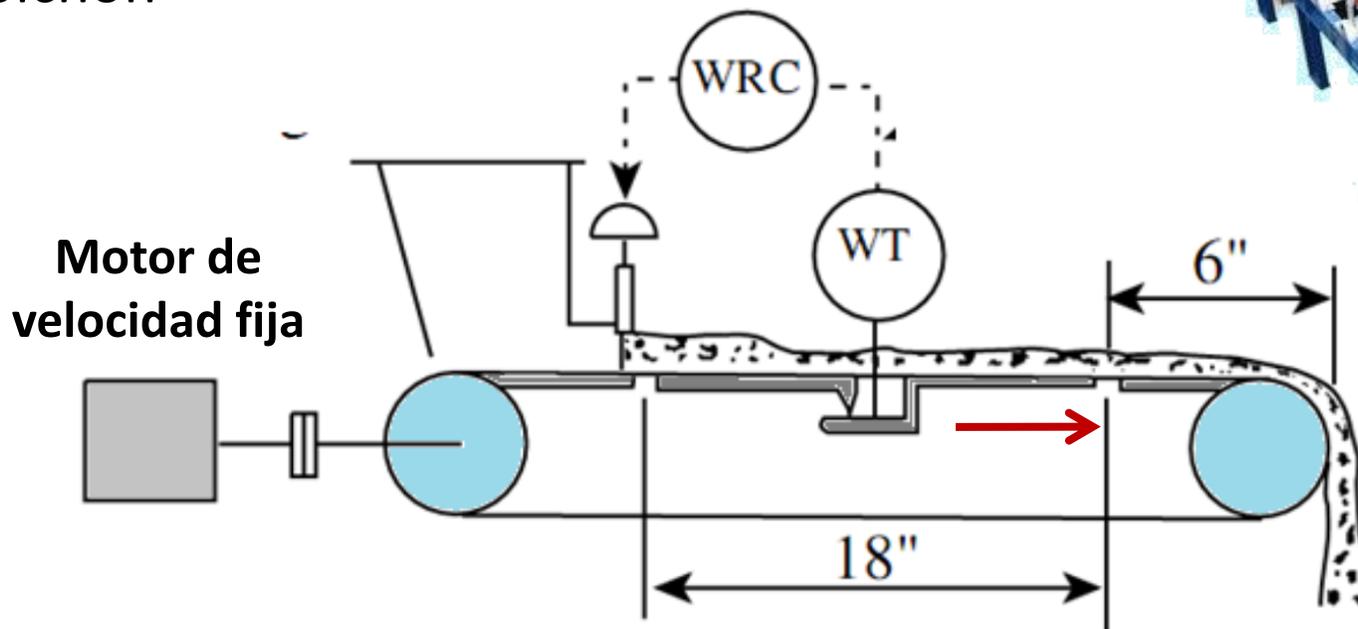
Alimentador de sólidos transportados por tornillos.

En este caso, la velocidad de giro del tornillo establece el caudal de sólido transportado.

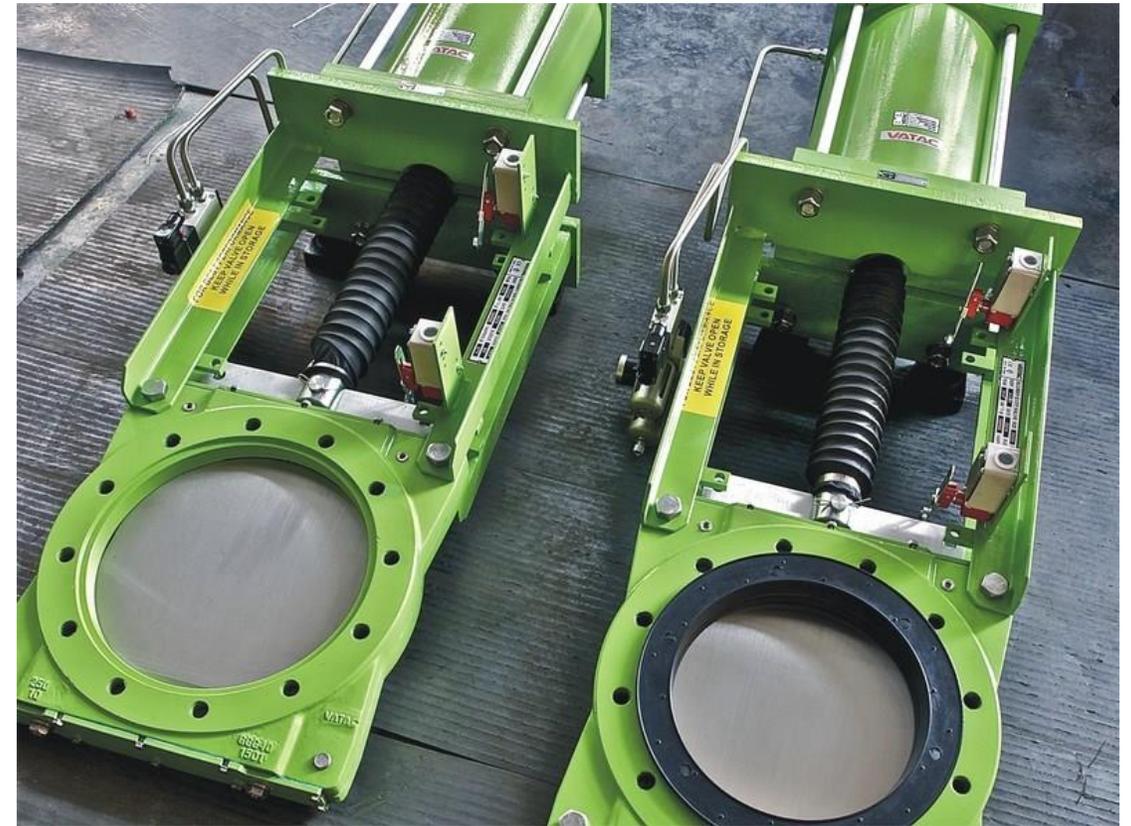
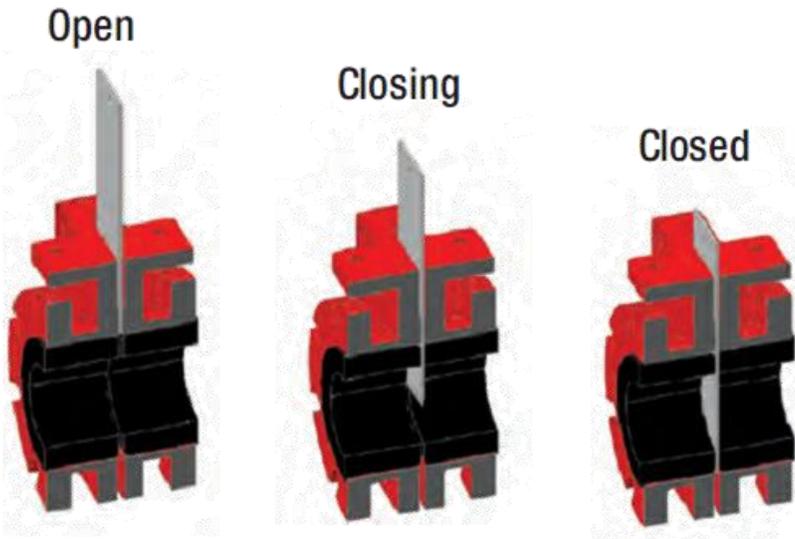


ELEMENTOS PARA MANEJO DE FLUJO DE SÓLIDOS

Hay muchas aplicaciones en las que se combina sistemas de control de la velocidad de la cinta que transporta el sólido y la altura del colchón



VÁLVULAS PARA MANEJO DE PASTAS PESADAS Y SÓLIDOS A GRANEL (de cuchillas)



Válvulas usadas fundamentalmente para bloqueo, sin caudales de fuga. Manejo bi-direccional de flujo.

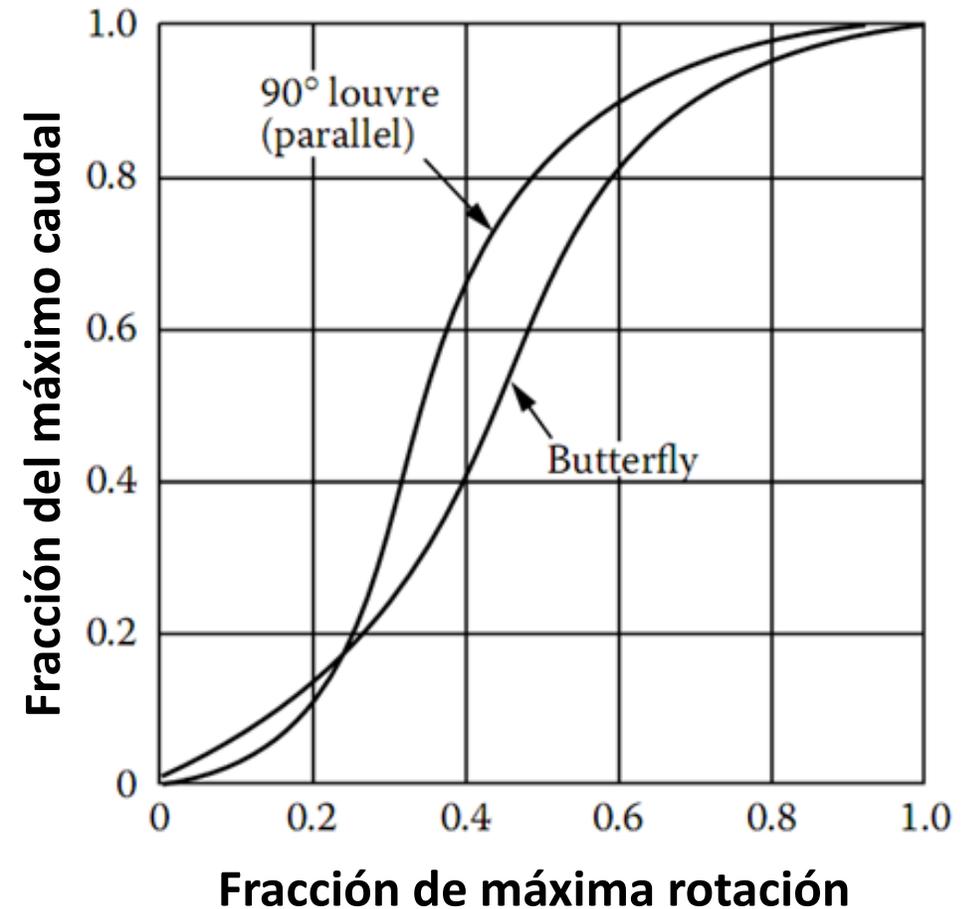
DISPOSITIVOS PARA MANIPULACIÓN DE CAUDALES DE GASES A PRESIONES BAJAS Y MEDIAS



Registro de persianas en paralelo (ductos rectangulares)

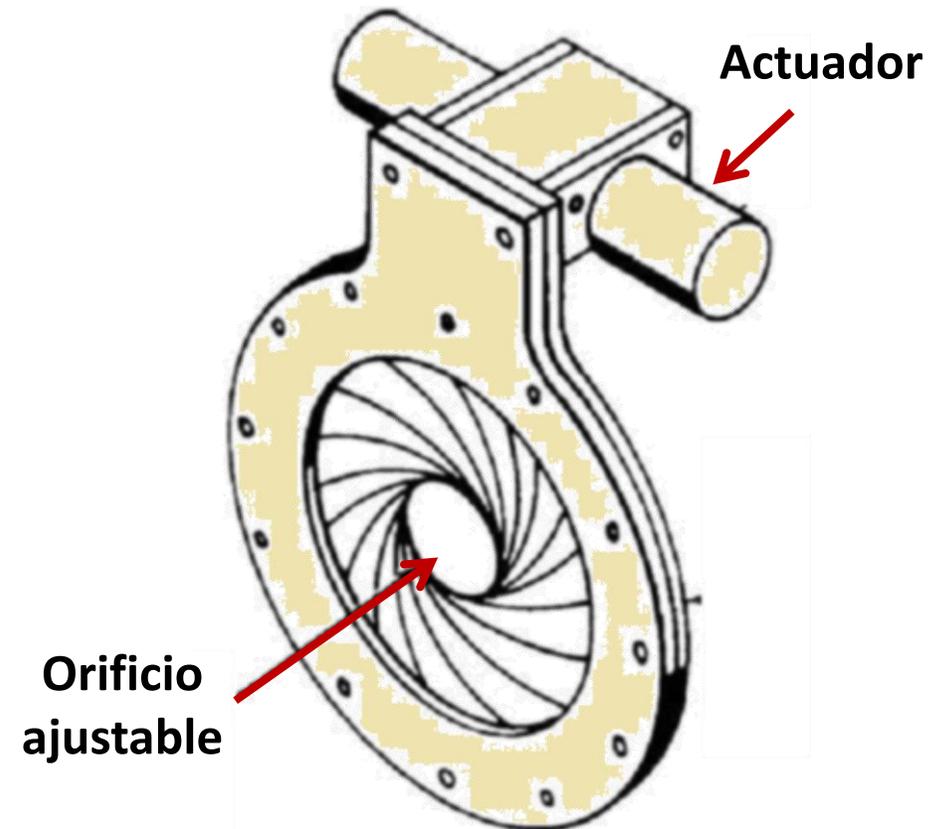


La característica de flujo es similar a las de las válvulas mariposa



DISPOSITIVOS PARA MANIPULACIÓN DE CAUDALES DE GASES A PRESIONES BAJAS Y MEDIAS

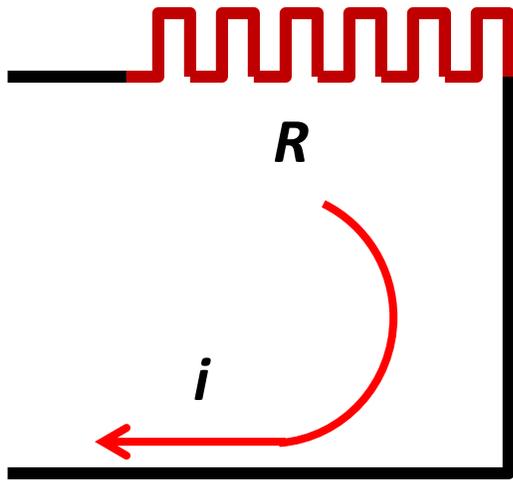
Registro de persianas radiales (ductos circulares). Muy usados para manipular el aire en el tramo de inducción de ventiladores y sopladores.



Registro de sección circular tipo "iris"

RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

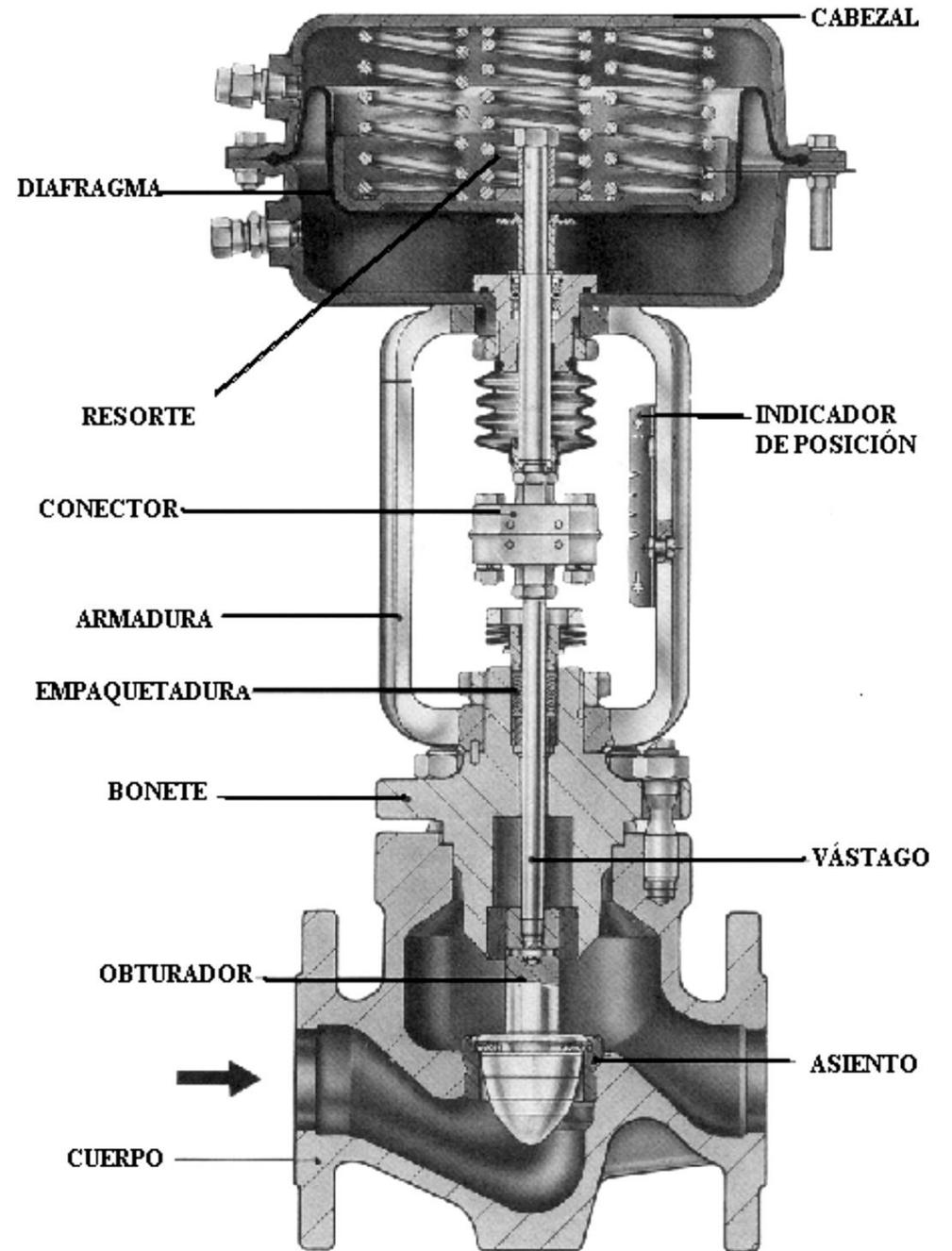
Este es uno de los pocos casos en los que la manipulación de la energía no se hace por medio del cambio de caudales. Existen técnicas especiales como la modulación de pulsos en el tiempo, implementadas en controladores de temperatura, que permiten variar la corriente sobre resistencias calefactoras, modificando así la disipación de energía.



LA VÁLVULA DE CONTROL

La válvula de control es básicamente un orificio variable por efecto de un actuador. Constituye el elemento final de control en más del 90 % de las aplicaciones industriales.

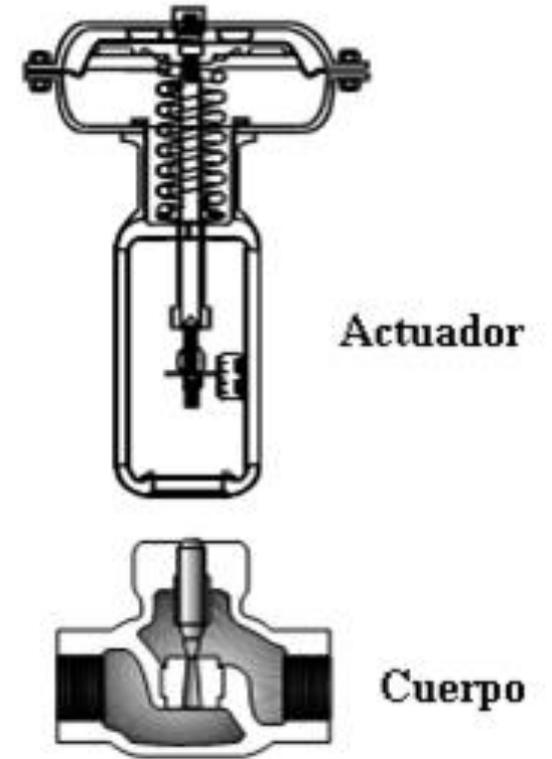
Esta válvula utiliza una señal externa que puede ser neumática o eléctrica y posteriormente transformada en una de tipo neumática que incide el cabezal.



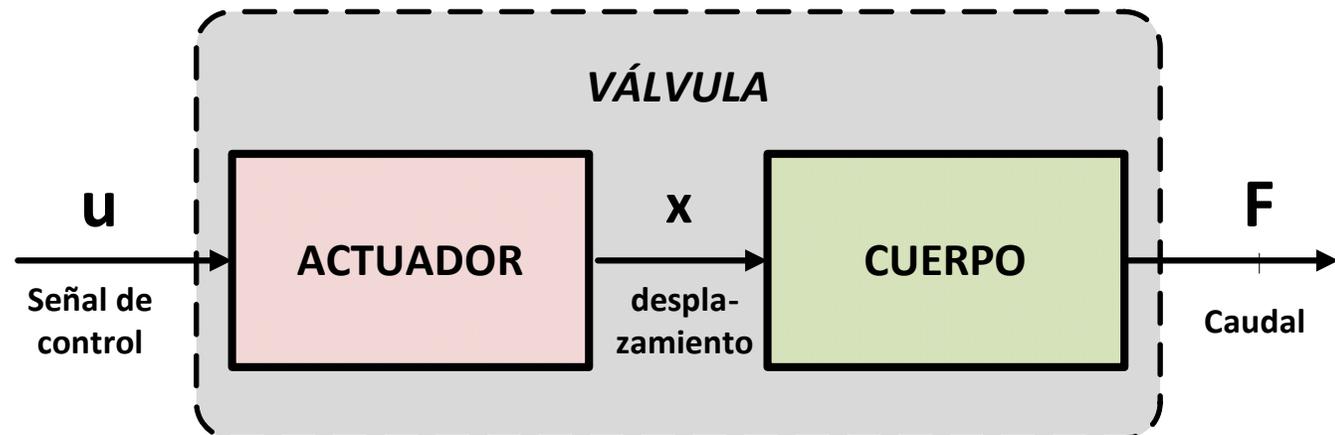
LA VÁLVULA DE CONTROL

Estos elementos los podemos considerar constituidos por dos partes:

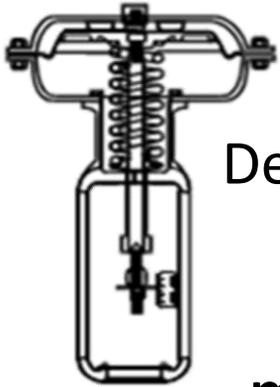
- ❑ **Actuador:** recibe la señal de controlador y la transforma en un desplazamiento (lineal o rotacional) merced a un cambio en la presión ejercida sobre el diafragma.
- ❑ **Cuerpo:** el diafragma está ligado a un vástago o eje que hace que la sección de pasaje del fluido cambie y con ésta el caudal.



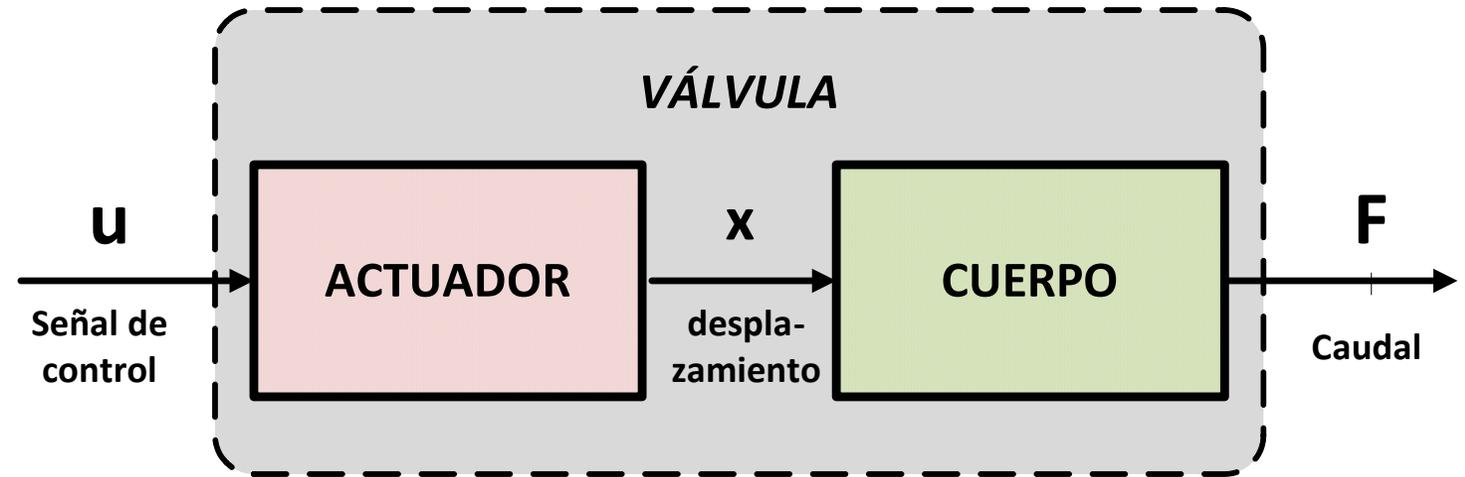
Con un diagrama en bloques se puede representar a la válvula como un sistema en serie:



LA VÁLVULA DE CONTROL



Desde el punto de vista estático el **actuador** es **moderadamente lineal** y la dinámica más significativa es la de llenado del cabezal con **una constante de tiempo** del orden de los segundos.

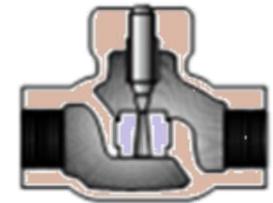


$$G_A(s) = \frac{K_A}{\tau_V s + 1}$$

$$G_{CU}(s) = K_{CU}$$



$$G_V(s) = \frac{K_A K_{CU}}{\tau_V s + 1} = \frac{K_V}{\tau_V s + 1}$$



El **cuerpo** carece de retardo y la *ganancia viene determinada por la característica de flujo.*

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.



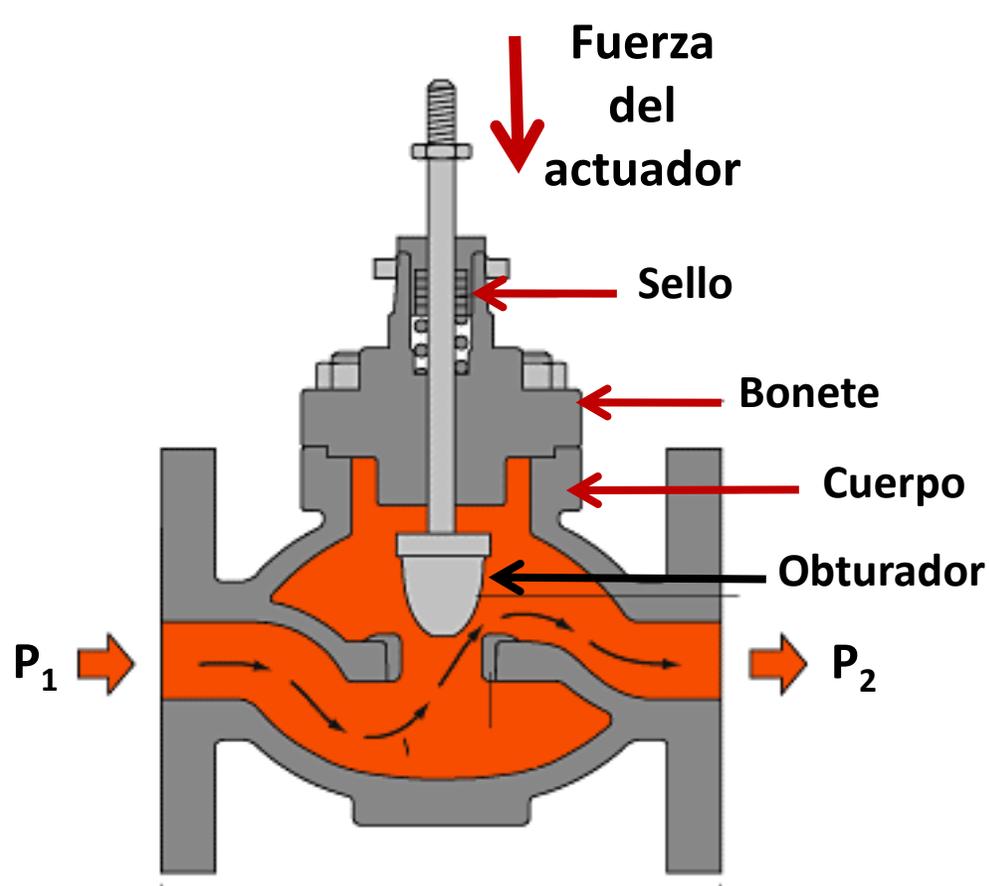
ESPECIFICACIÓN DE VÁLVULAS DE CONTROL

- 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.

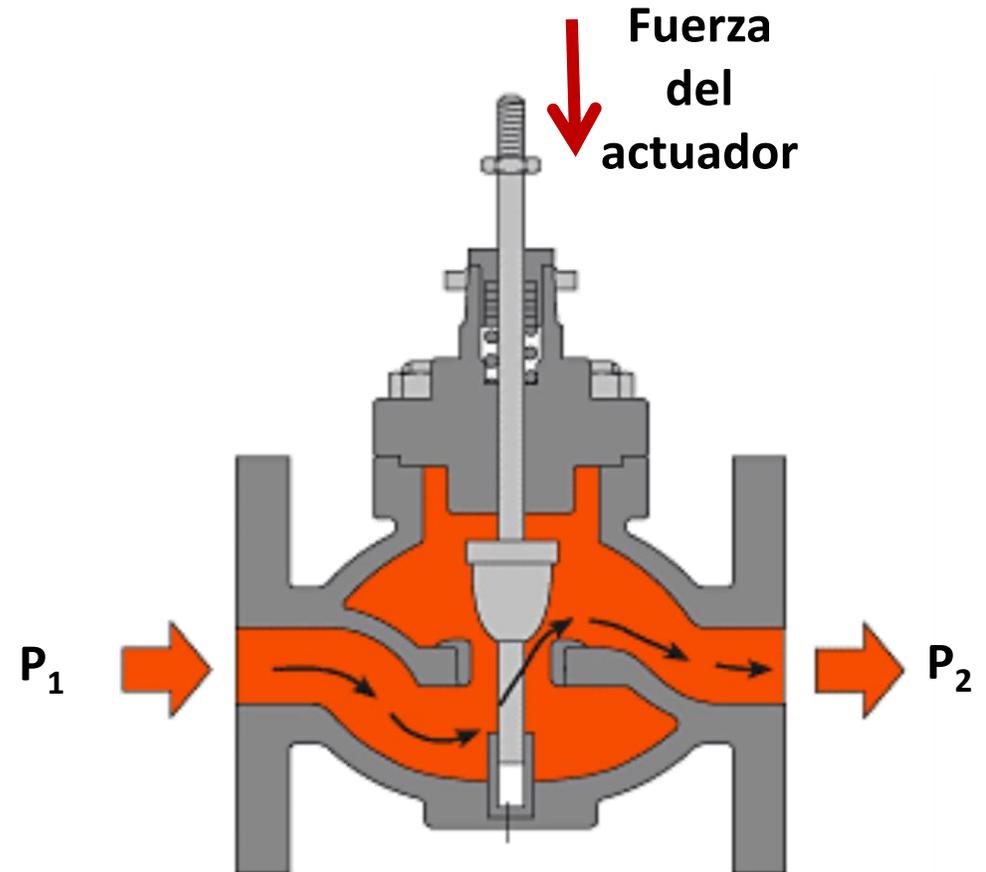


VÁLVULAS GLOBO

Una de las válvulas más difundidas. El movimiento del vástago lineal. Existen muchas variantes para atender diversidad de aplicaciones



Válvula Globo con un solo asiento y guiada en un extremo

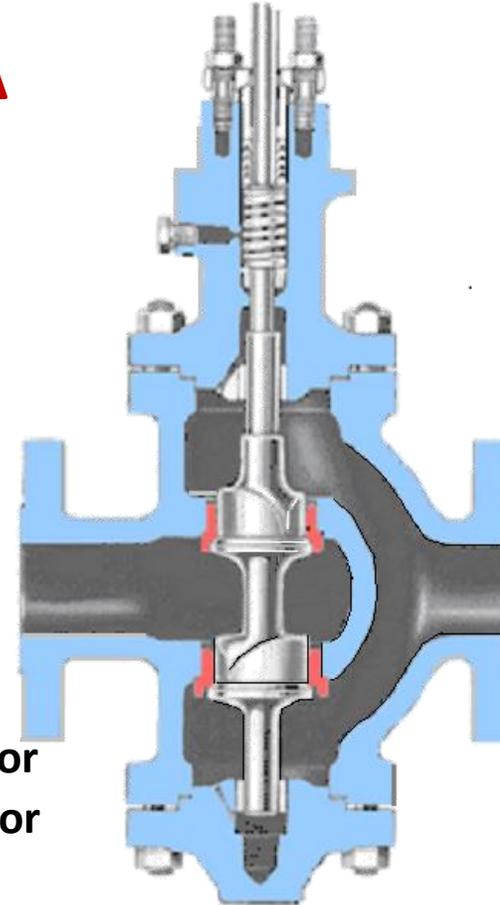
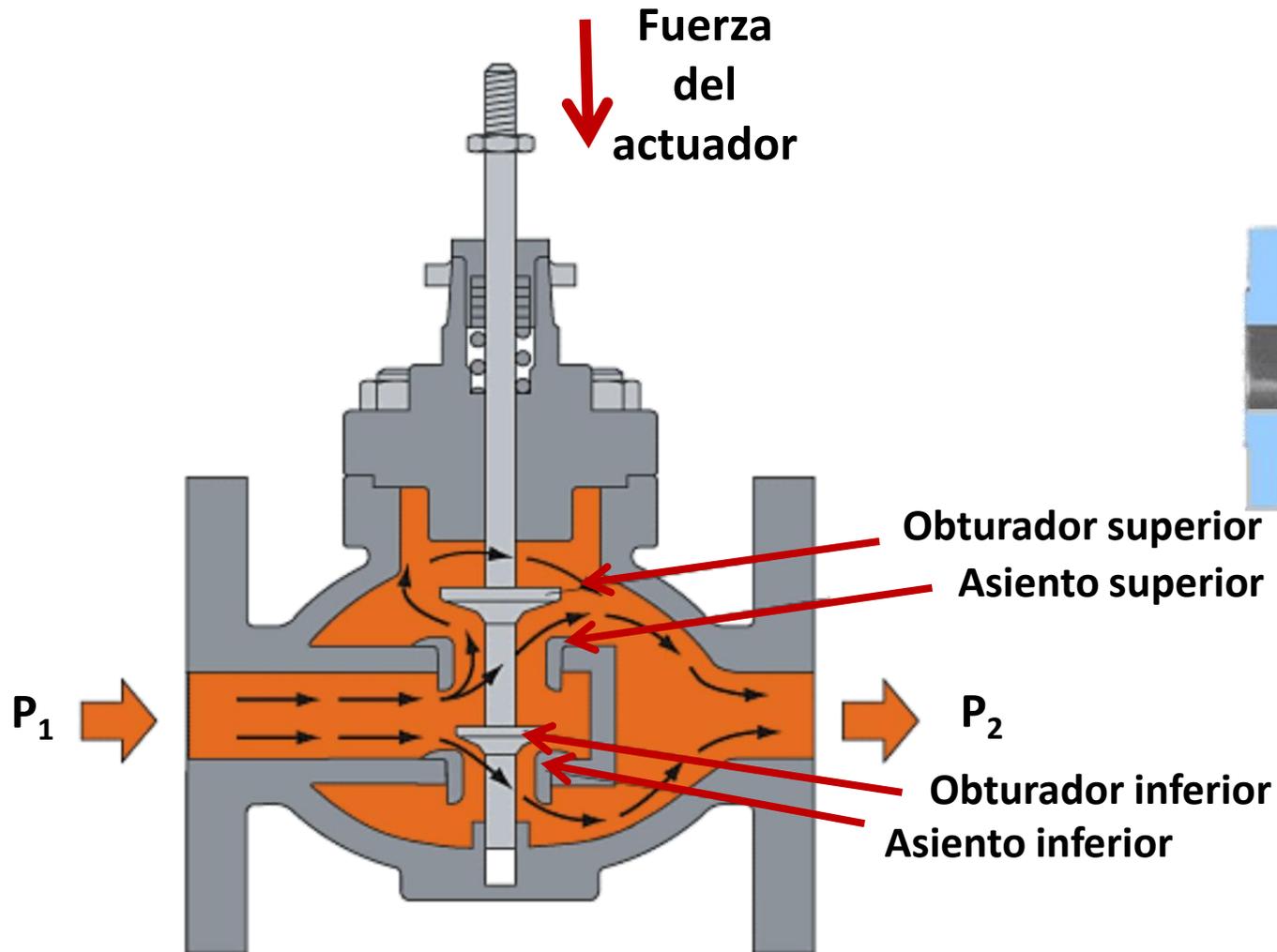


Válvula Globo con un solo asiento y guiada en los dos extremos

VÁLVULAS GLOBO



VÁLVULA GLOBO COMPENSADA

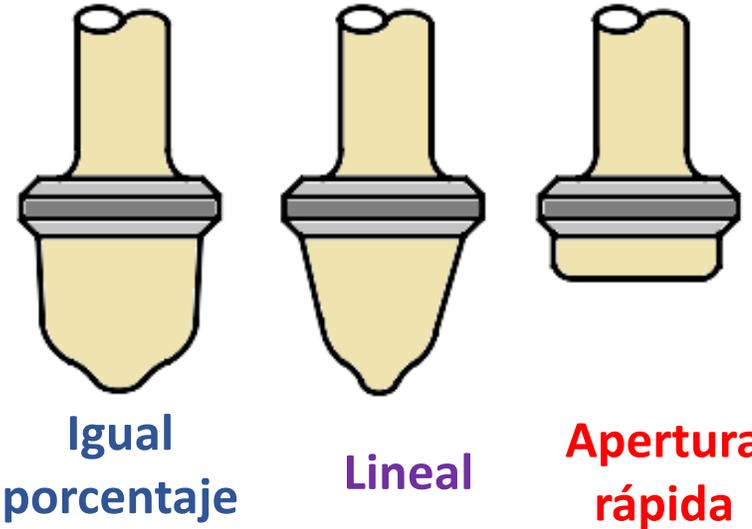
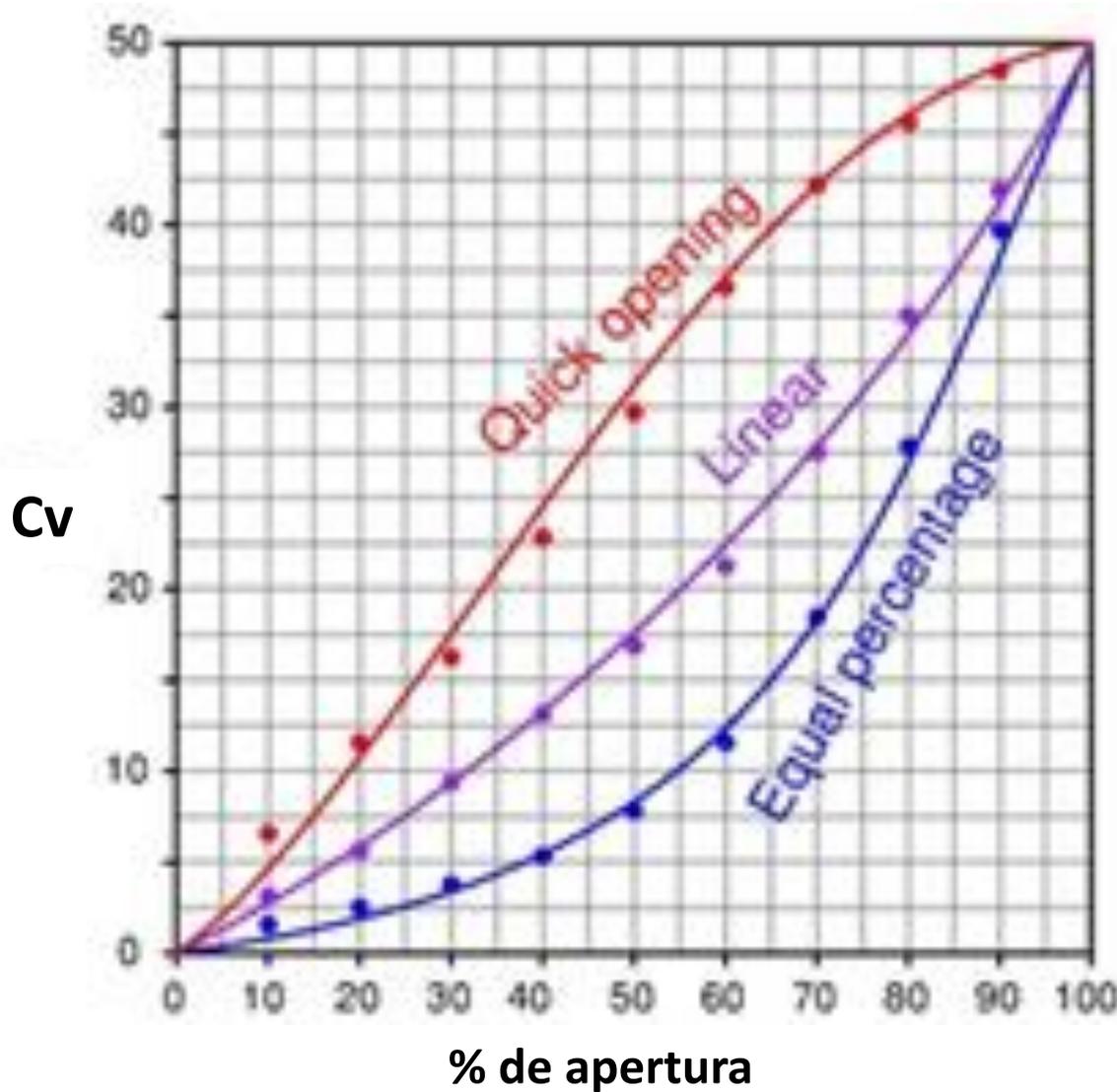


Las válvulas globo con **doble asiento** sirven para servicios en los que la **diferencia de presión es muy grande** y para **grandes caudales**.

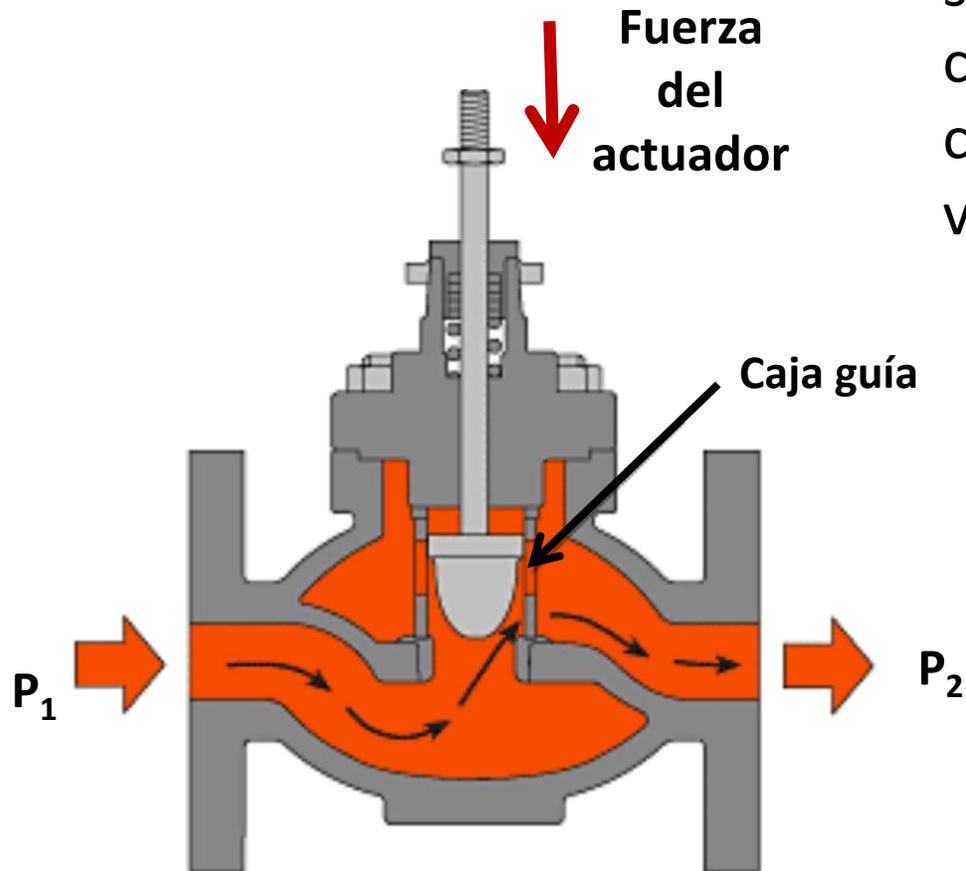
De esta forma, se logra que el actuador no deba hacer esfuerzos excesivos.

VÁLVULA GLOBO - OBTURADORES

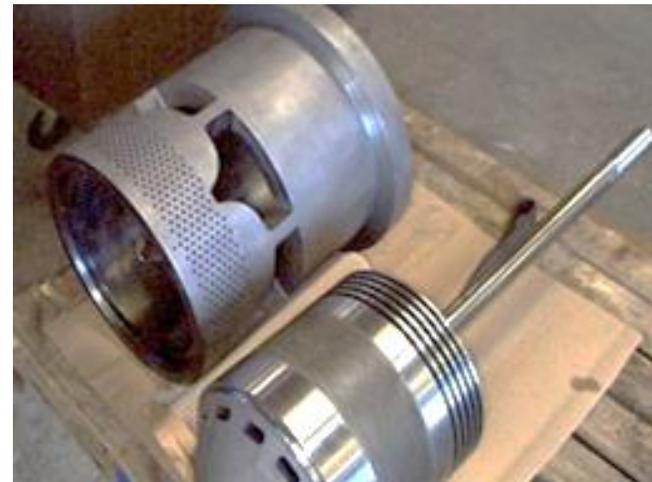
Una flexibilidad de estas válvulas es que pueden cambiarse los obturadores y así obtener distintas características de flujo.



VÁLVULA GLOBO GUIADAS EN CAJA (JAULA)

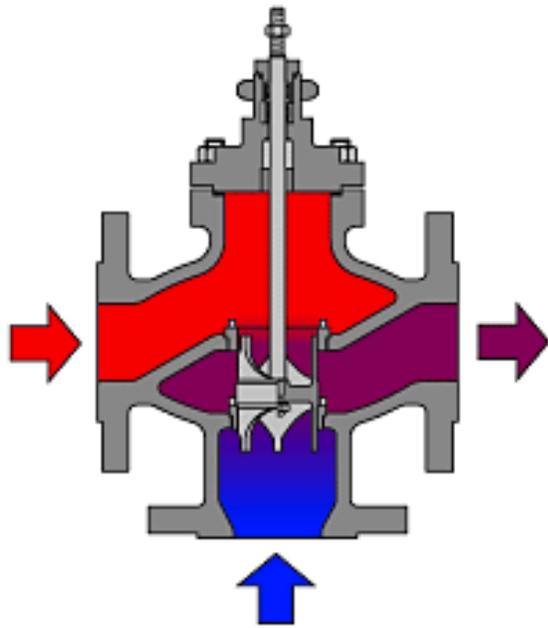


Son válvulas globo que pueden cambiar las características de flujo y sirven para servicios especiales (anti cavitación, flashing, vibración, etc.)

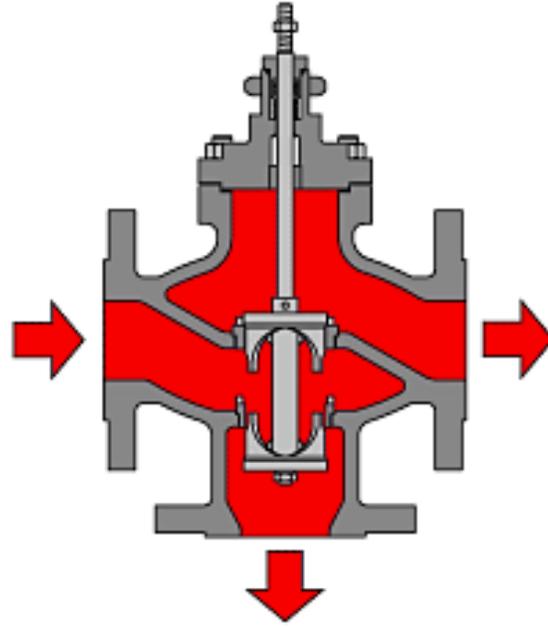


VÁLVULAS GLOBO DE TRES VÍAS

Las válvulas globo de tres vías, permiten mezclar dos corrientes o dividir una corriente en dos, permitiendo estrategias de control más elaboradas



Mezcladora



Divisora



VÁLVULAS GLOBO EN ÁNGULO

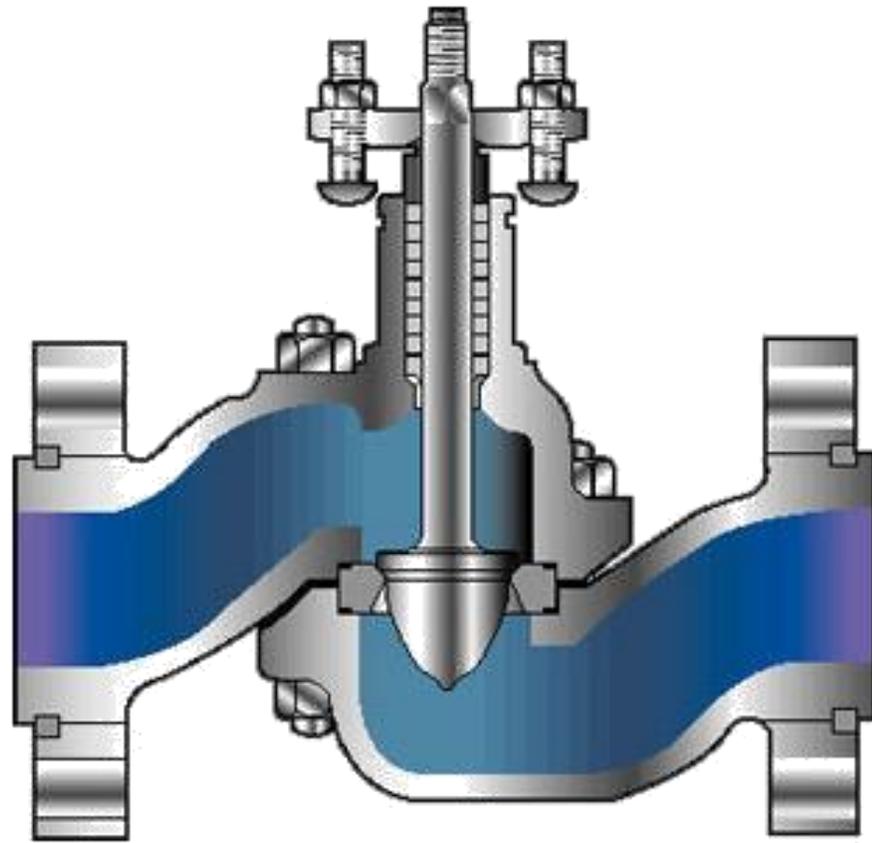


Manejan el flujo sin turbulencias excesivas. Adecuada para **disminuir la erosión** por las características del fluido o por la excesiva presión diferencial.

Se usan con **fluidos que vaporizan** o que **contienen sólidos en suspensión**.



VÁLVULAS GLOBO DE CUERPO PARTIDO



Modificación de la válvula de globo de simple asiento teniendo. El **cuerpo está partido** en dos partes, entre las que el asiento queda presionado.

La forma constructiva permite una **fácil sustitución del asiento** y además no deja espacios muertos en el cuerpo.

Se emplea principalmente para **fluidos viscosos** y en la **industria alimentaria**.



VÁLVULAS GLOBO

VENTAJAS

- ❑ Fuerte cierre
- ❑ Variedad de características de flujo
- ❑ Rápida velocidad de respuesta
- ❑ Gran rangeabilidad en control
- ❑ Soportan grandes caídas de presión
- ❑ Disponible en pequeños tamaños
- ❑ Internos para servicio severo
- ❑ Distintas clases de construcción

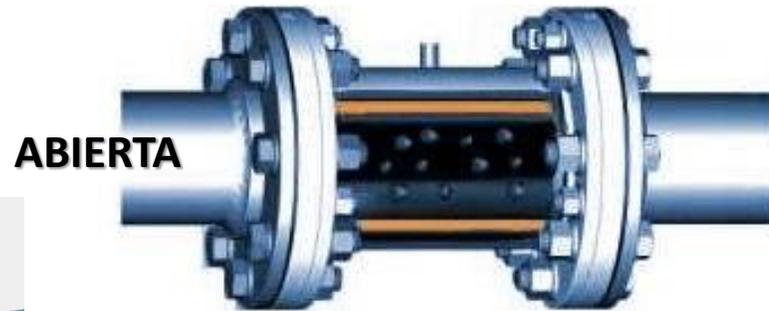
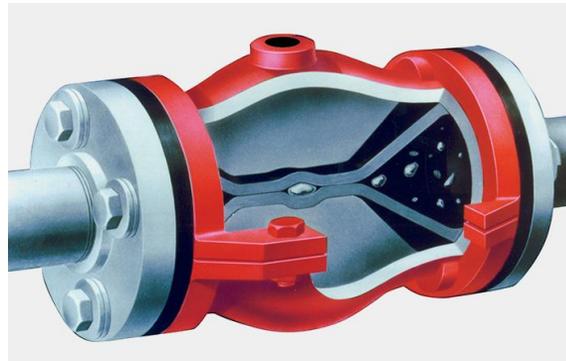


DESVENTAJAS

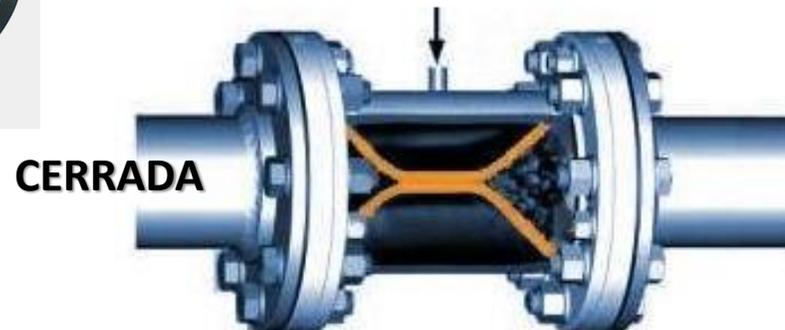
- ❑ Limitada capacidad de flujo (C_v) en función a su tamaño (y de diámetros)
- ❑ Elevado peso comparado con otros tipos constructivos
- ❑ Alto costo comparado con otros tipos

VÁLVULAS PINCH (de compresión)

Funcionan **pinzando** un elemento flexible, por ejemplo, un tubo de goma. Se caracteriza por que proporciona un **óptimo cierre**. Se usan para el manejo de fluidos agresivos, viscosos o con sólidos en suspensión.

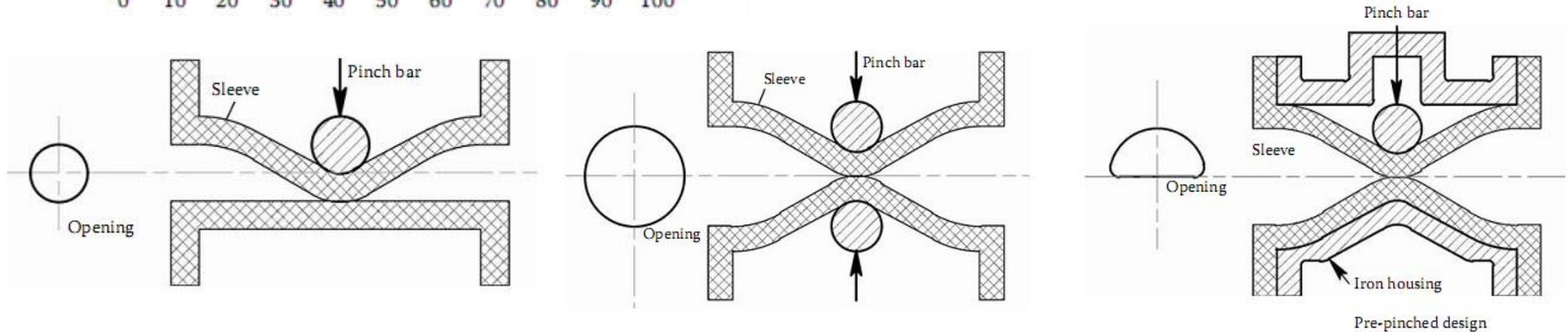
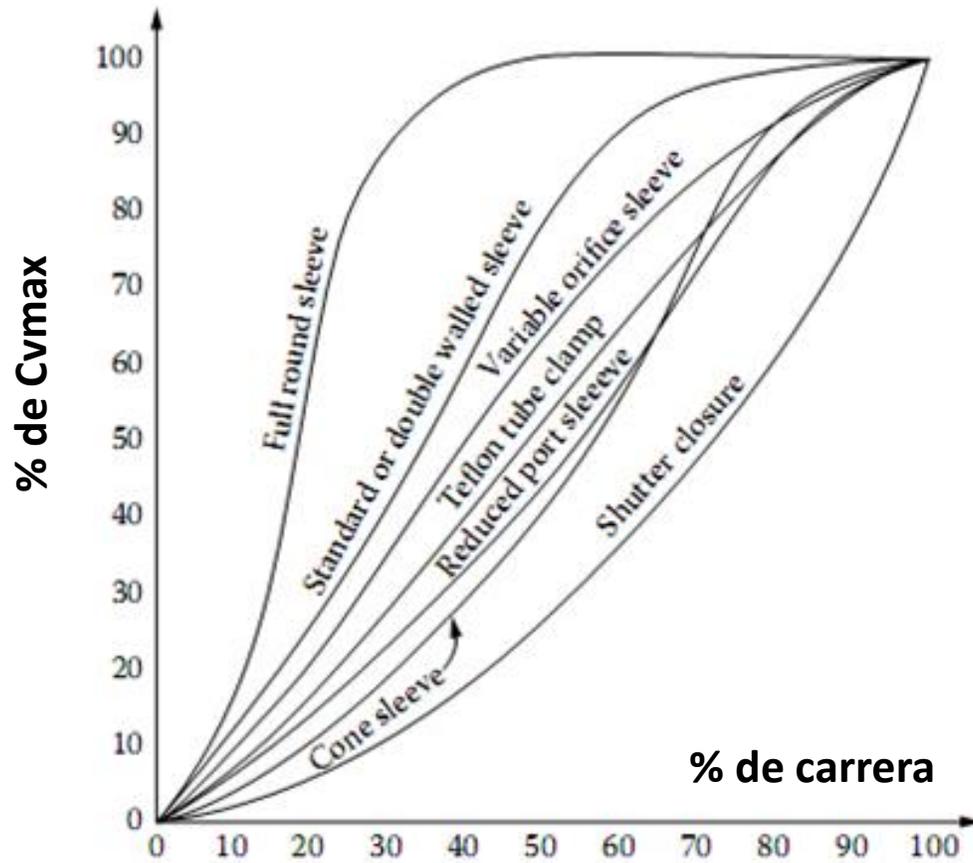


Aire a presión



VÁLVULAS PINCH (de compresión)

Según la forma constructiva, se obtienen diversas características de flujo, lo que permite elegir la característica más apropiada a la aplicación.

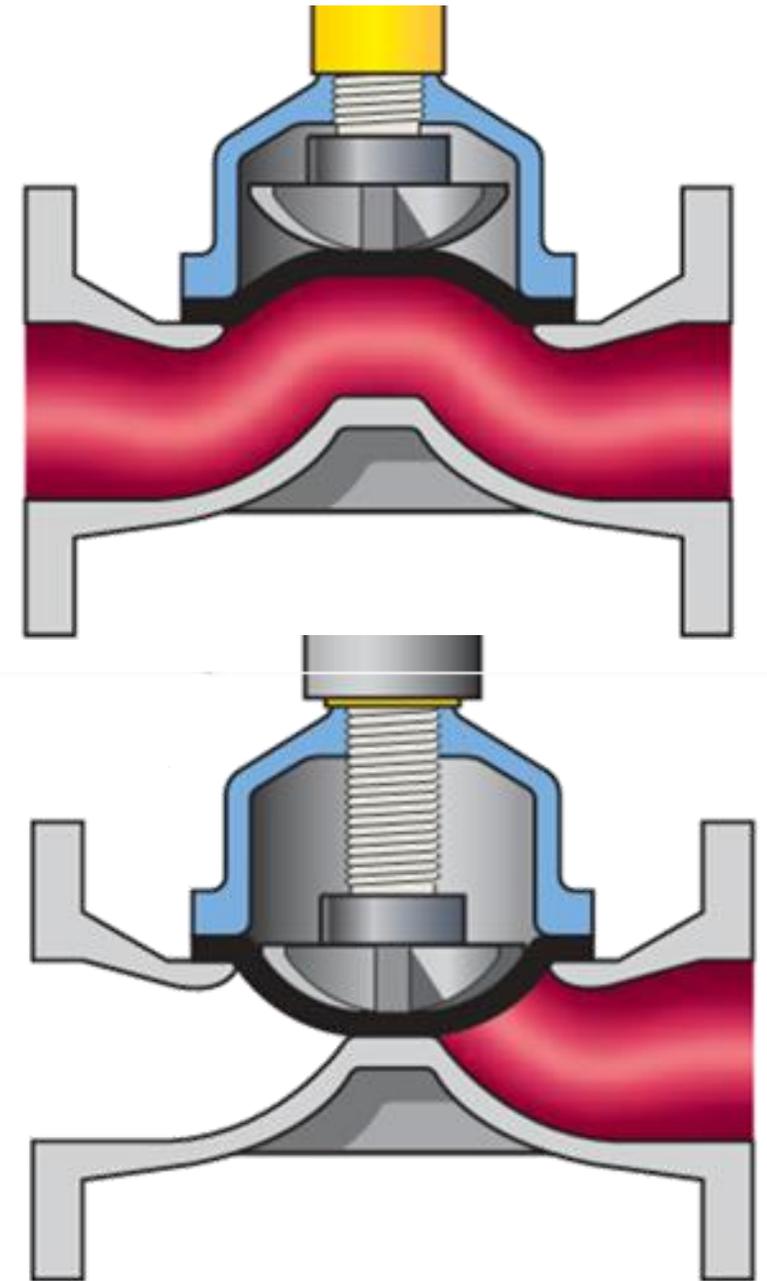


VÁLVULAS SAUNDERS

El obturador consiste en una membrana flexible que a través de un vástago se desplaza contra un resalte del cuerpo, cerrando el paso del fluido. El cuerpo puede revestirse fácilmente de goma o plástico para trabajar con fluidos agresivos.



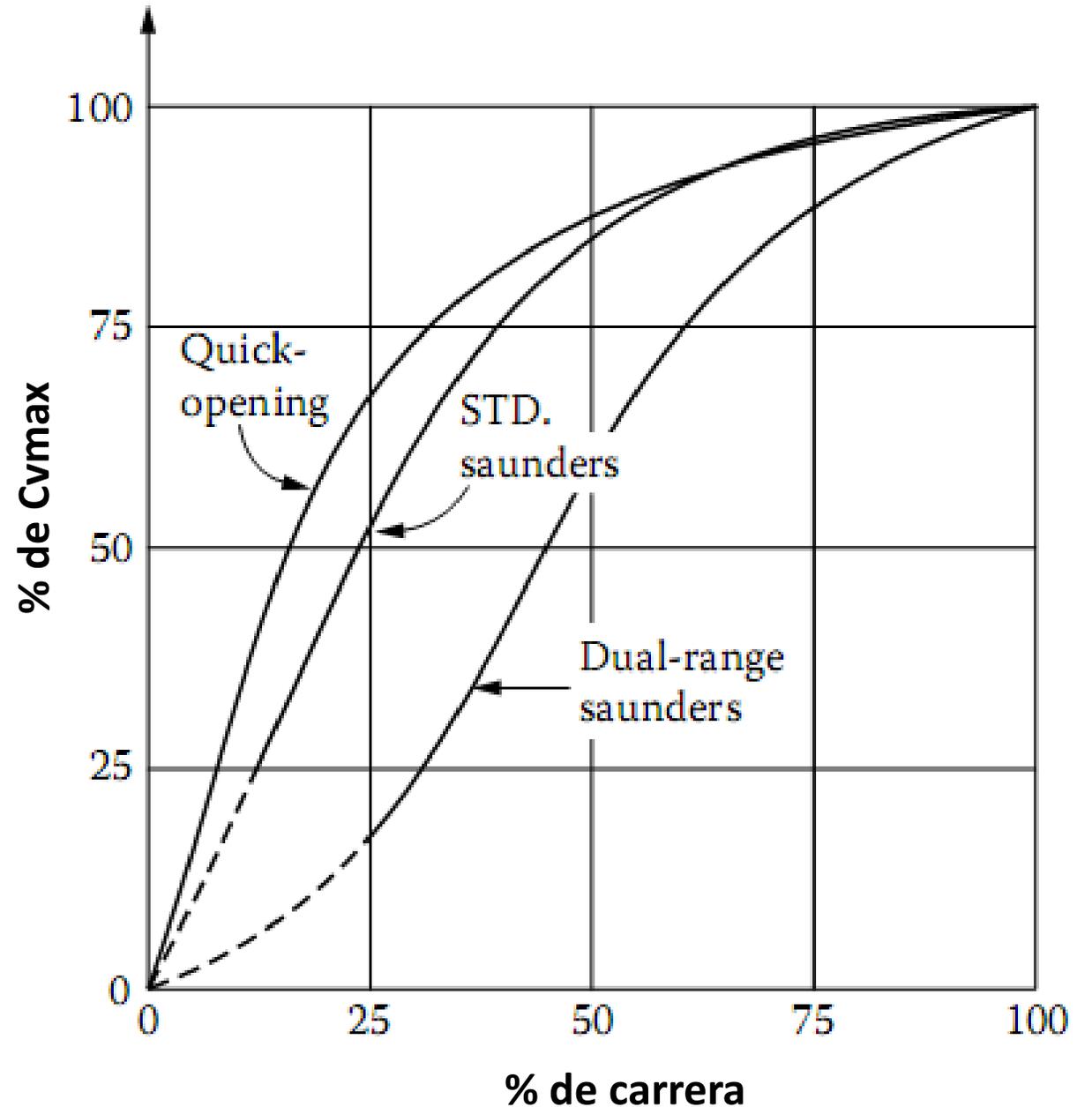
El accionamiento debe desarrollar **alta potencia para cierre total**. Se utiliza principalmente en **procesos químicos difíciles**, en particular en el manejo de fluidos agresivos o que contengan sólidos en suspensión.



VÁLVULAS SAUNDERS

Una seria limitación de este modelo de válvula es su característica inherente. Los modelos más comunes normalmente son de apertura rápida.

Su rangeabilidad es baja, en torno de 4:1.

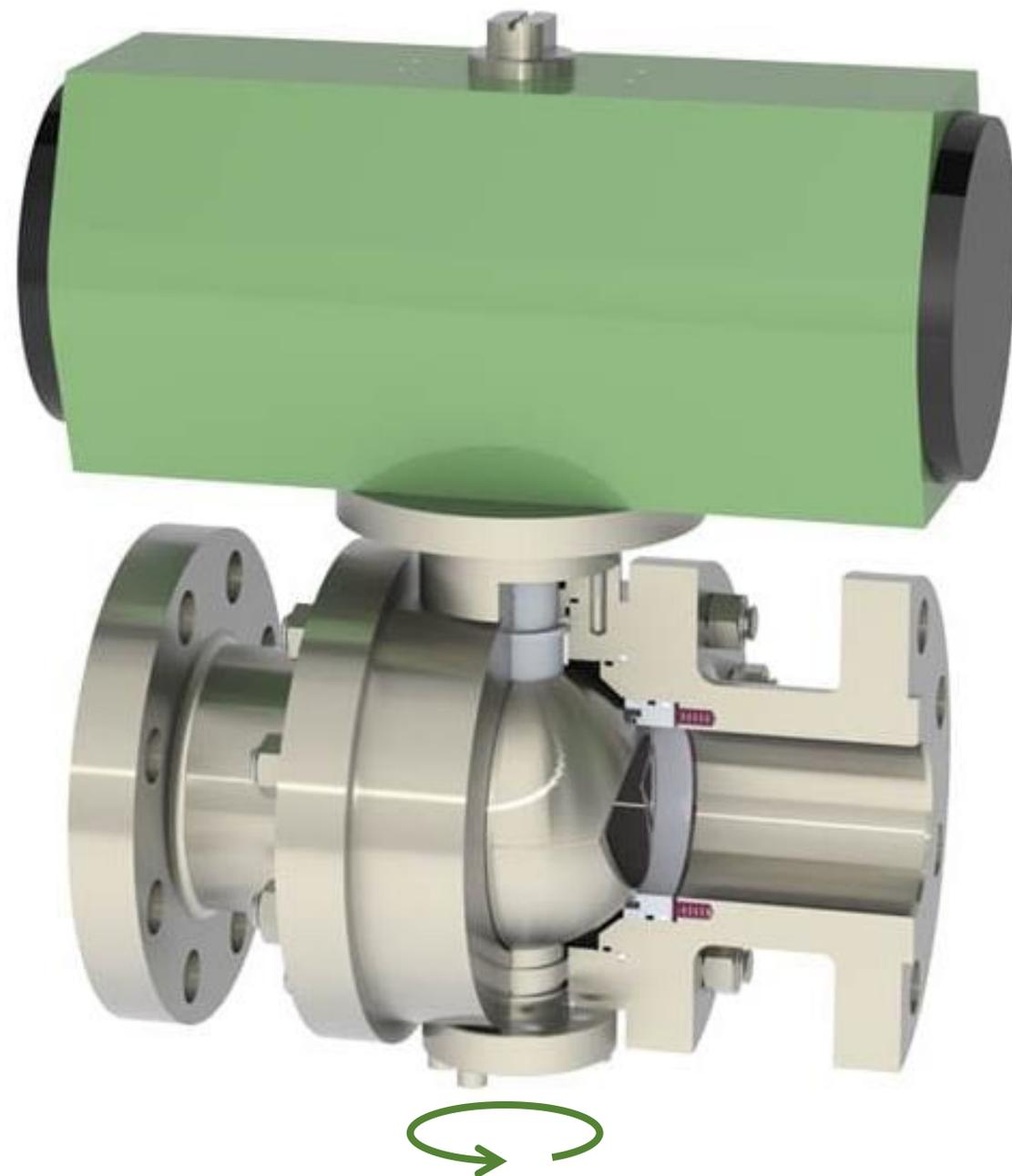


VÁLVULAS ESFÉRICAS

La apertura y cierre se logra con movimiento rotacional del vástago.

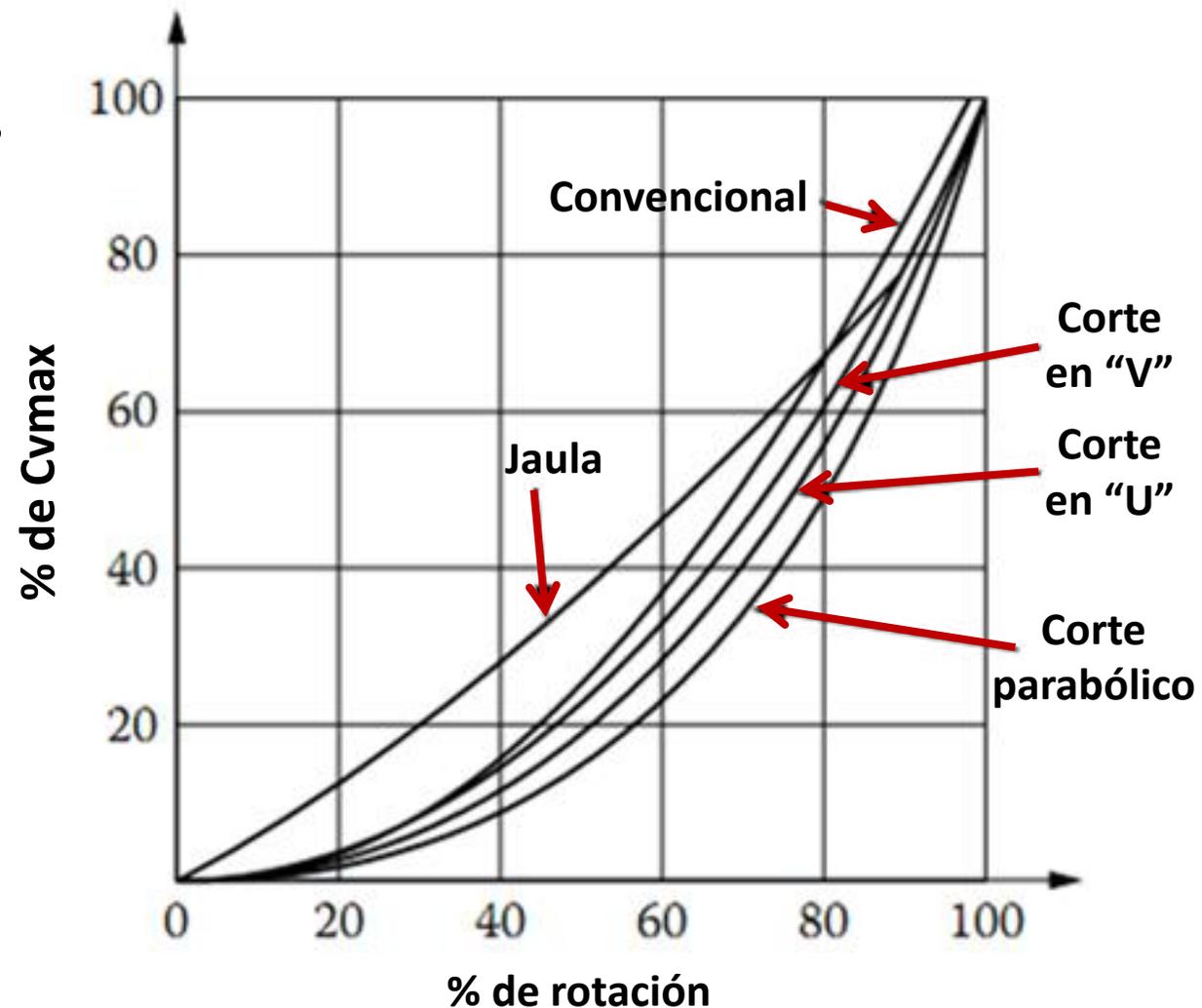
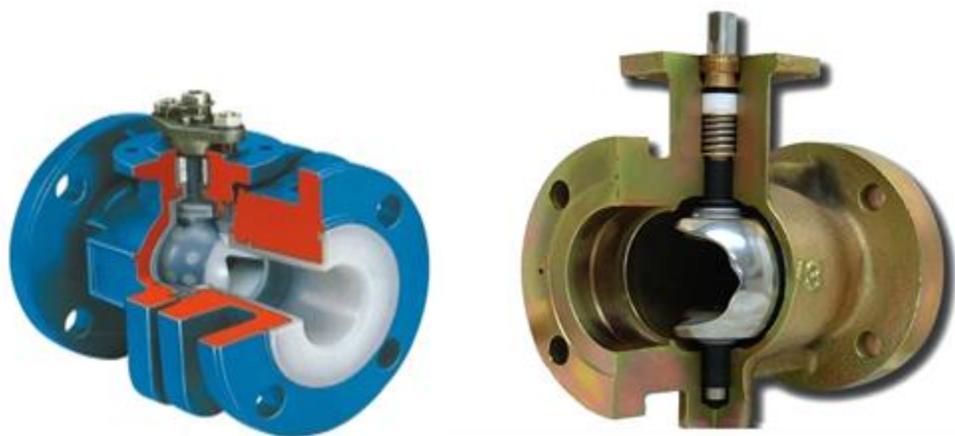
El cuerpo posee una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o bolilla. El **cierre hermético se logra mediante un aro de resina anti-adherente** incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula esta cerrada.

Una de las aplicaciones más difundidas de este tipo de válvula es la manipulación de **fluidos altamente viscosos** o con **fibras en suspensión**.



VÁLVULAS ESFÉRICAS

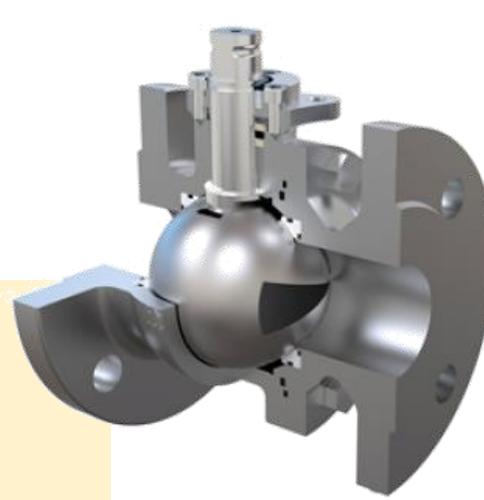
Los obturadores se fabrican con cortes adecuados para fijar la característica de flujo de la válvula.



VÁLVULAS ESFÉRICAS

VENTAJAS

- Fuerte cierre
- La más alta capacidad de flujo (Cv)
- La más amplia rangeabilidad
- Excelente para productos con contenido de fibras o muy viscosos
- Geometría adecuada para procesos erosivos
- Versatilidad en cuanto a características de flujo



DESVENTAJAS

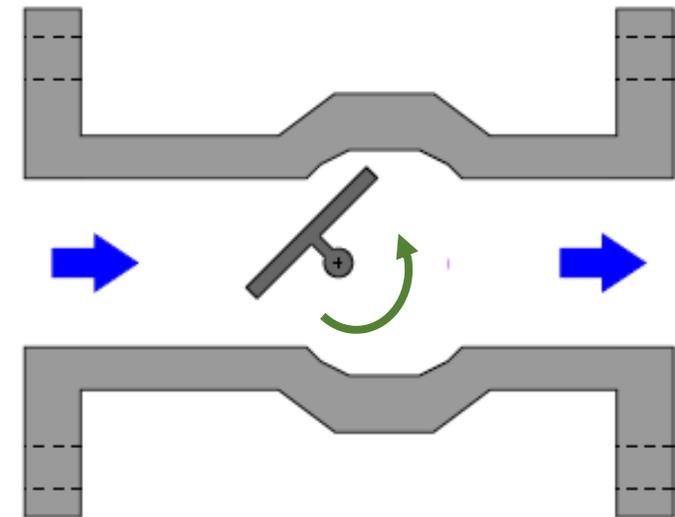
- Requieren esfuerzo mecánico considerable para para accionar.
- Mas pesadas y costosas que las válvulas de globo
- Alto costo comparado con otros tipos

VÁLVULAS DE OBTURADOR EXCENTRICO ROTATIVO



Consiste en un **obturador de superficie esférica** que tiene un movimiento excéntrico rotativo. El **torque necesario** para el movimiento relativamente **moderado**.

La válvula puede tener un cierre estanco mediante anillos de resina anti-adherente dispuestos en el asiento, **Se caracteriza por su gran capacidad**.

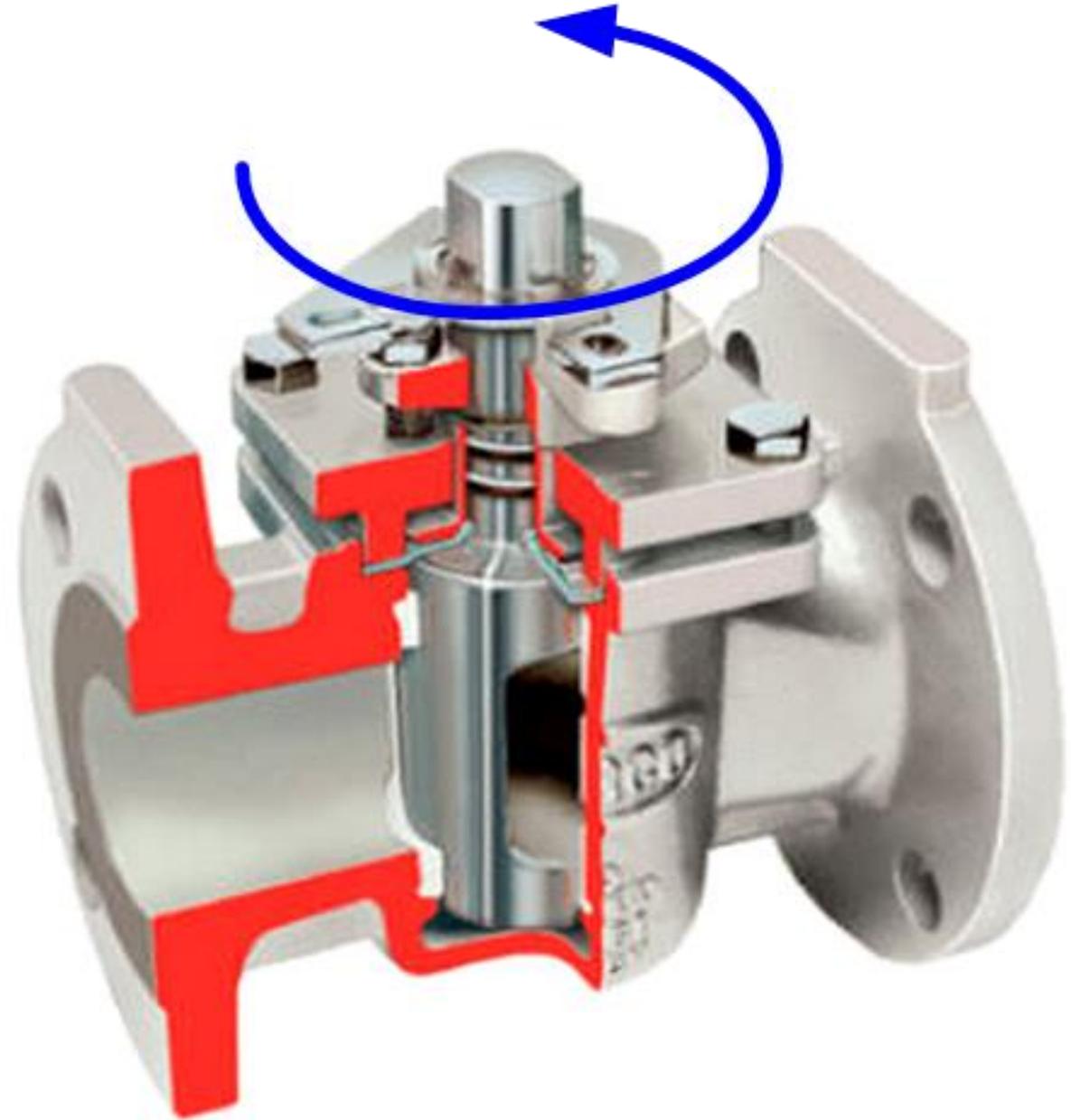


VÁLVULAS TAPÓN (plug)

Similares a las válvulas esféricas, pero con obturador **cilíndrico** o **tronco cónico**.

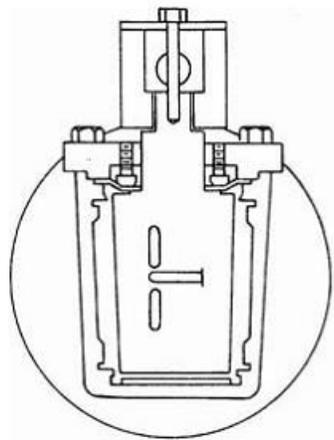
Se utilizan mucho en la **industria petrolera** y en servicios con **suspensiones y pastas** en las **industrias químicas y de papel**.

Para lograr cierre hermético se emplea anillos de resina anti-adherente incorporados al cuerpo contra los que se apoya el o obturador.

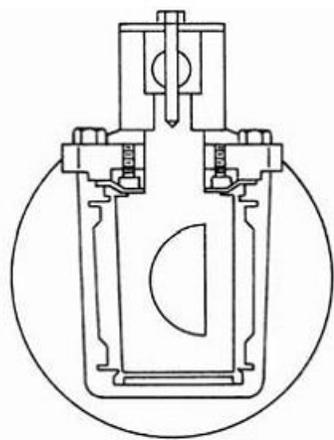


VÁLVULAS TAPÓN (plug)

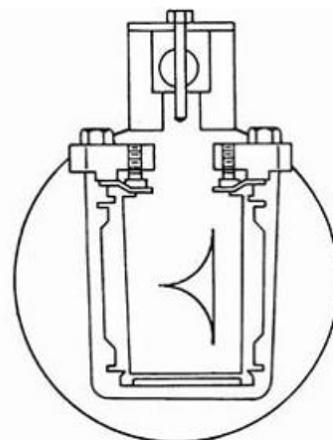
Los cortes del obturador se fabrican con el objeto de fijar la característica de flujo de la válvula.



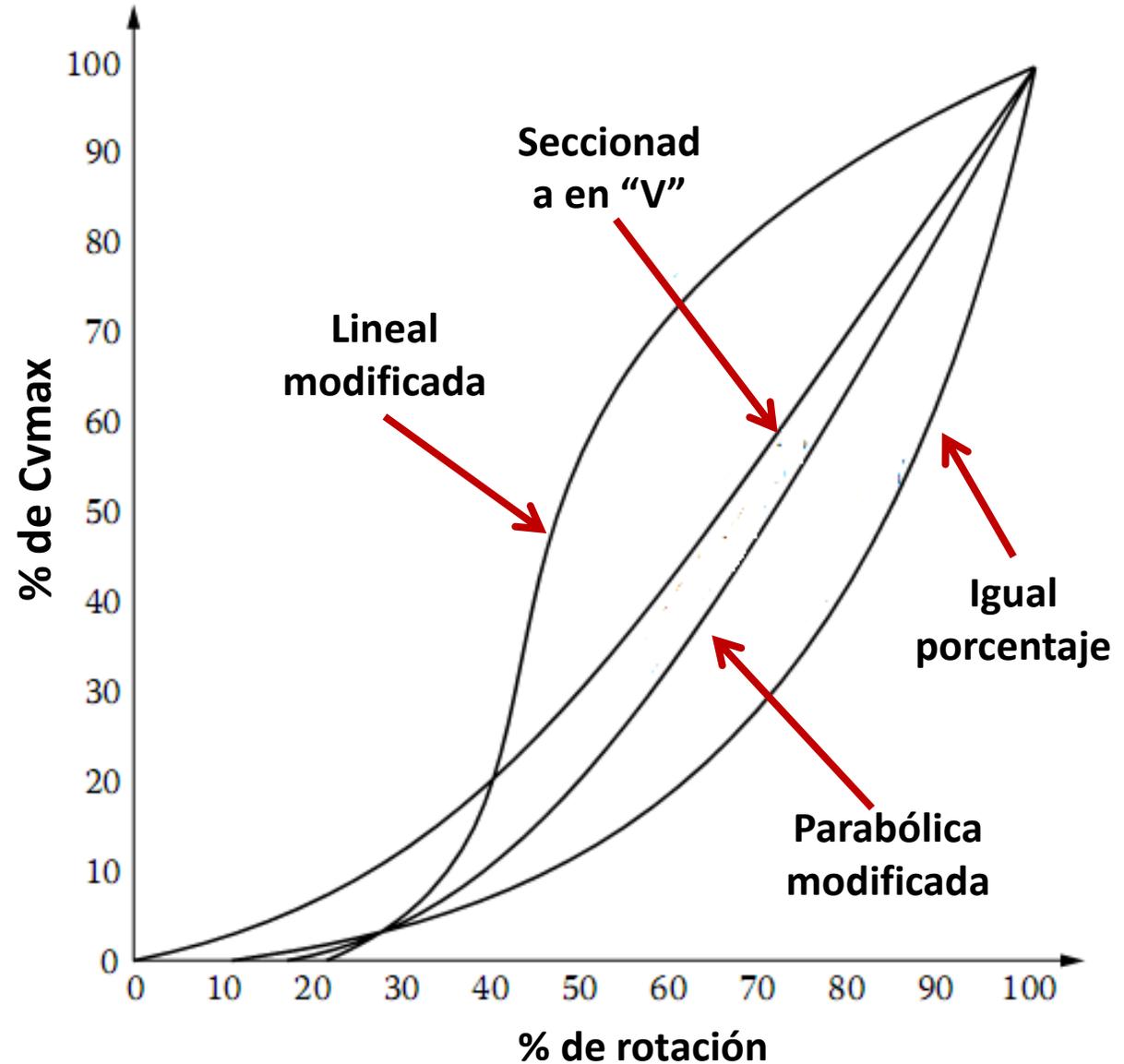
**Lineal
Modificada**



**Parabólica
Modificada**



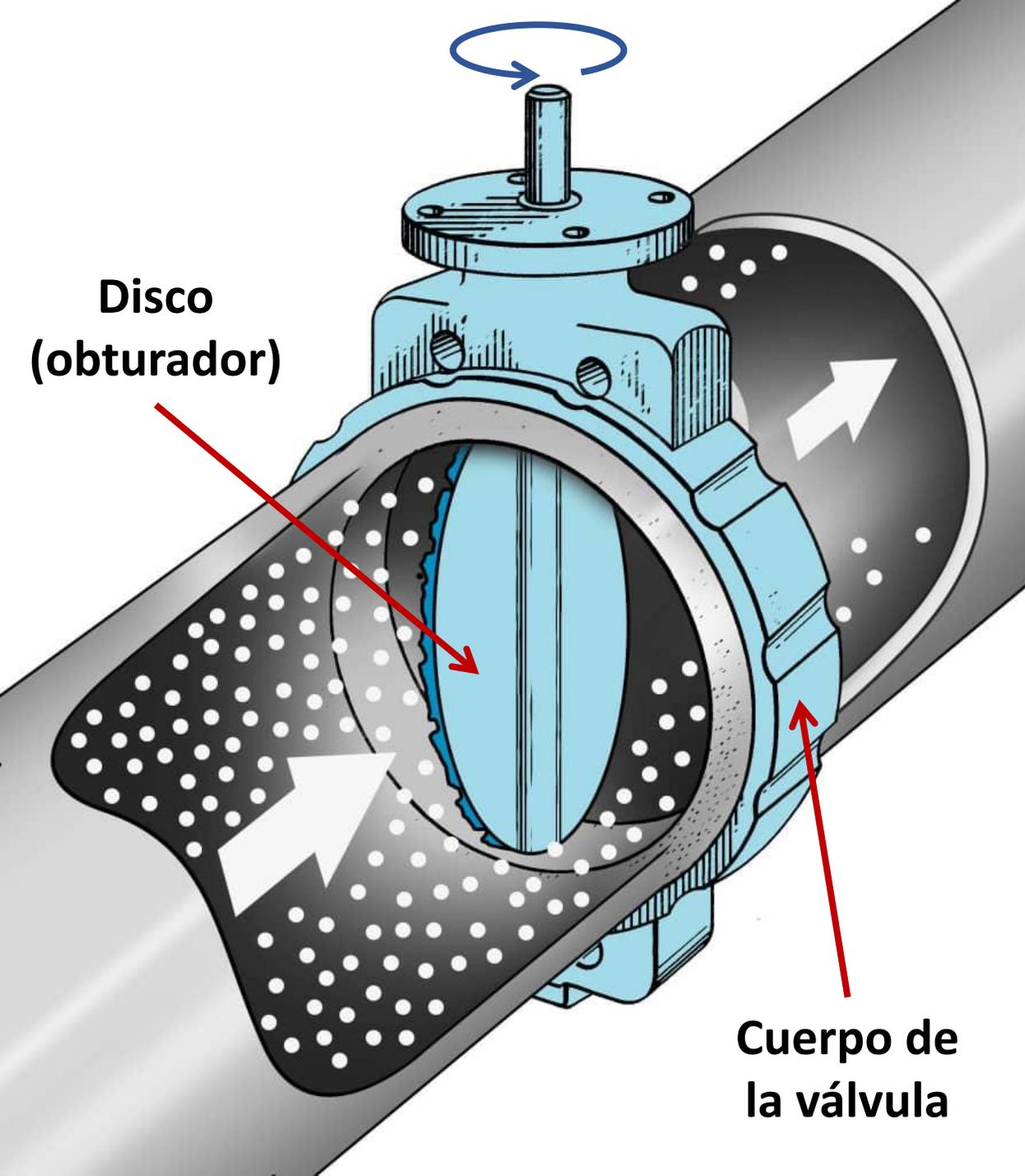
**Igual
porcentaje**



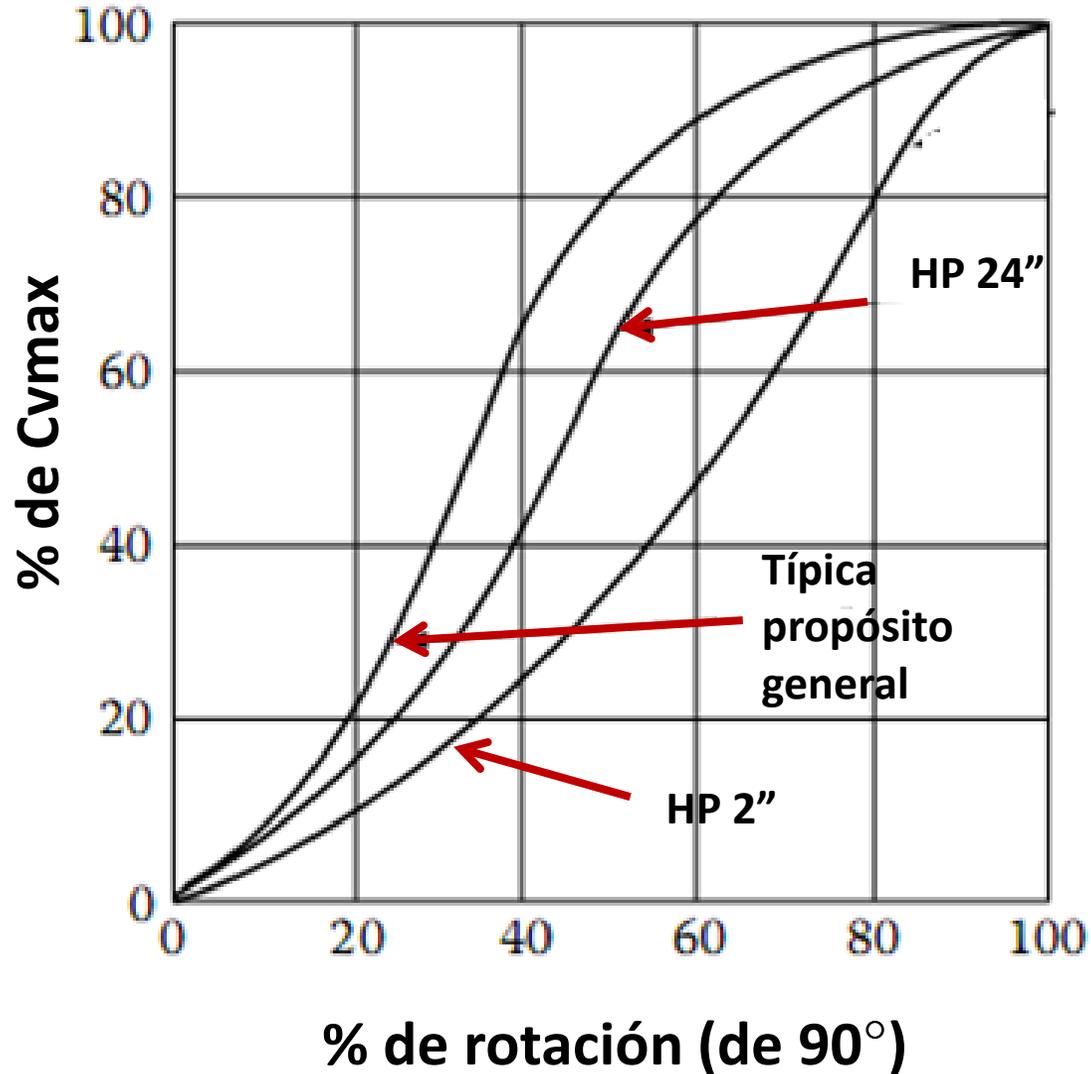
VÁLVULAS MARIPOSA

Las válvulas de mariposa constan de un disco que gira perpendicular a la trayectoria del flujo de fluido. Cuando es paralelo al eje de flujo, el disco presenta un mínimo de obstrucción; cuando es perpendicular al eje, el disco bloquea completamente cualquier flujo. El cuerpo esta formado por un anillo cilíndrico del mismo diámetro que la cañería.

Las válvulas mariposa se emplean para el **control de grandes caudales de fluido**, sobre todo, cuando las **cañerías tienen gran diámetro**.

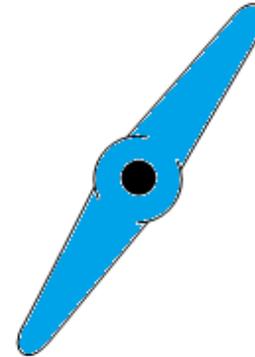


VÁLVULAS MARIPOSA

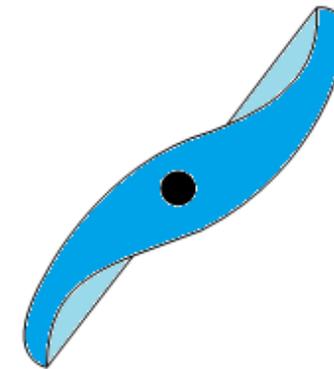


La característica de flujo está afectada por la localización del eje del plato (centrado o excéntrico) y por el tamaño relativo del eje comparado con la válvula.

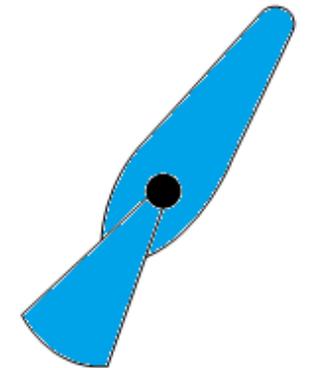
Para la manipulación, usualmente se restringe la apertura entre 0° y 60° ,



Disco convencional

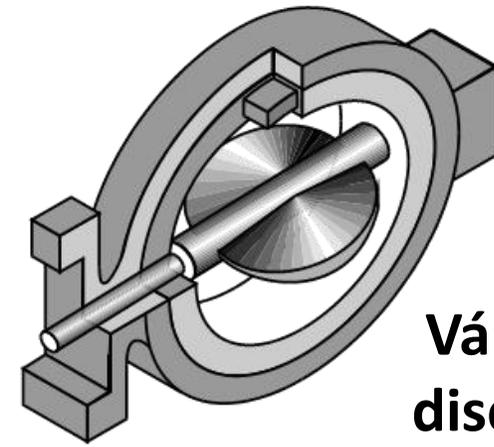
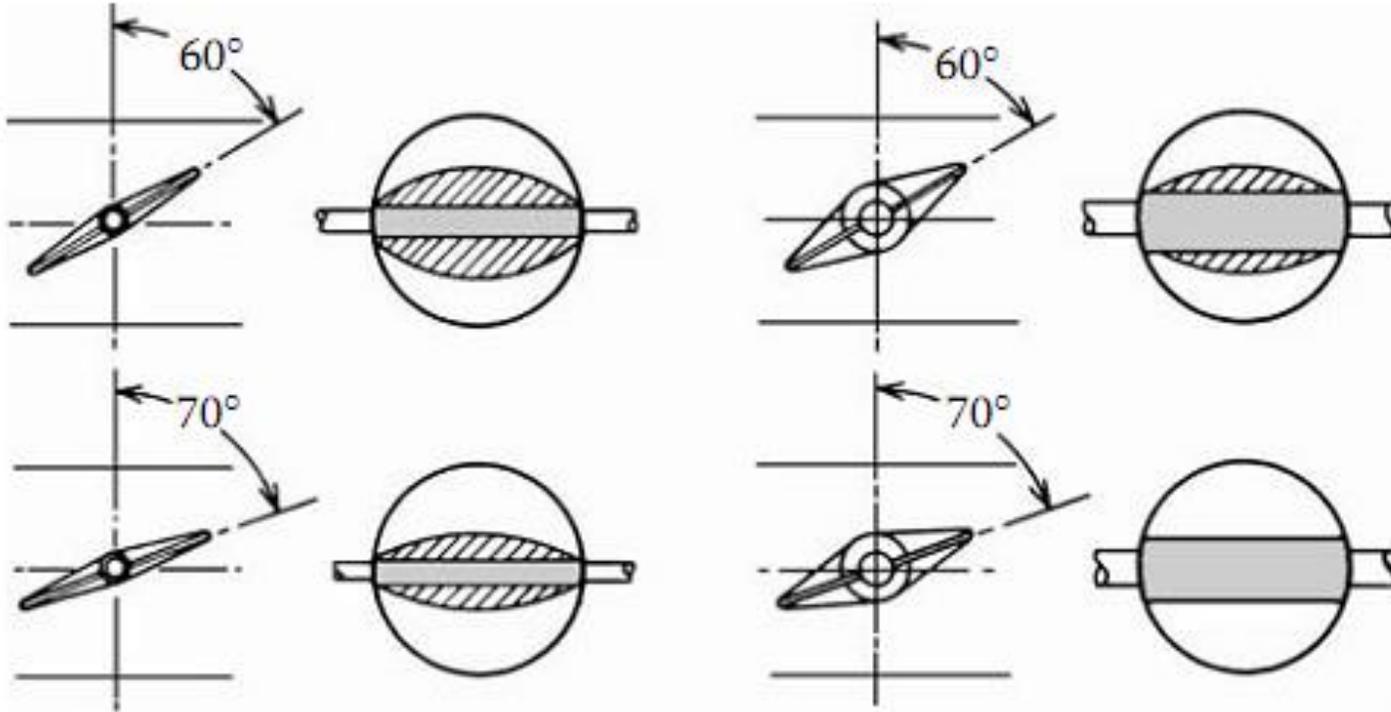


Disco combado



Disco cola de pez

VÁLVULAS MARIPOSA



**Válvula con
disco fishtail**

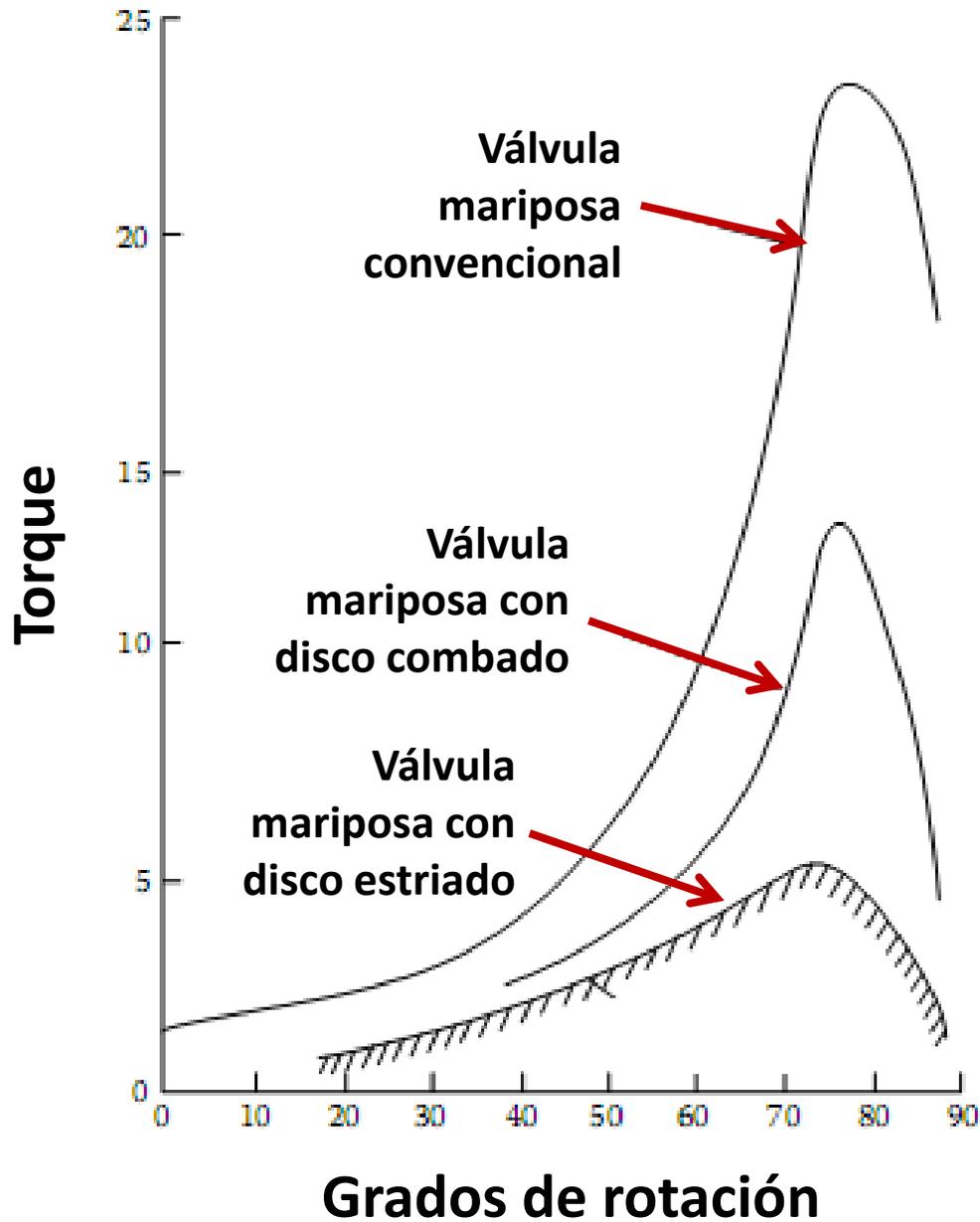
**Válvula con
disco excéntrico**



El tamaño relativo del eje comparado con el disco influye en la característica de flujo para aperturas mayores de 60°.

VÁLVULAS MARIPOSA

El torneado del disco también influye en el esfuerzo que debe realizar para abrir o cerrar la válvula.



Válvula con disco combado



Válvula con disco estriado

VÁLVULAS MARIPOSA

VENTAJAS

- Buen cierre
- Alta capacidad de flujo vs. tamaño
- Livianas comparadas con válvulas de globo del mismo tamaño
- Menor costo que las válvulas de globo
- Disco excéntrico para prevención de daño en el asiento
- Disponibles para grandes diámetros



DESVENTAJAS

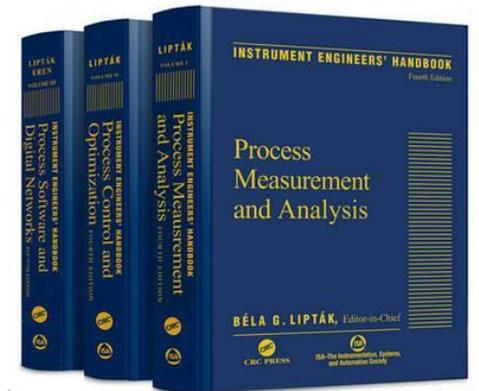
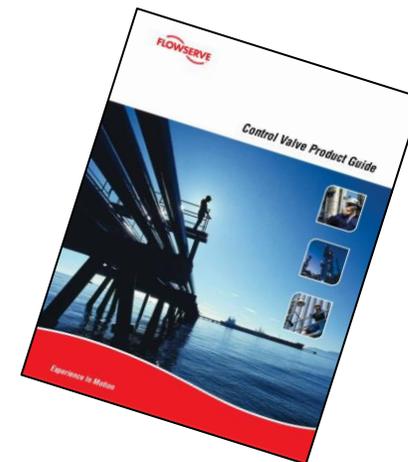
- No hay disponibilidad para tamaños menores a 2 pulgadas
- Presión de vena contracta menores que las válvulas de globo

GUÍA PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE VÁLVULA

El servicio que debe prestar la válvula de control determina el tipo. Entre los elementos a tener en cuenta figuran:

- Densidad, viscosidad, temperaturas y presiones del fluido.
- Tipo de flujo
- Si el fluido es abrasivo, corrosivo, si presenta sólidos o fibras en suspensión.
- Capacidad para manejar los caudales de operación.
- Caudales de fuga admisibles.

En **manuales** de instrumentación y **catálogos de fabricantes** se brinda información comparativa que permite seleccionar el tipo de válvula más adecuada para una dada aplicación.



GUÍA PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE VÁLVULA

Bela G. Liptak (Editor), **Instrument Engineers' Handbook**, vol. 2: Process Control and Optimization, 4°Ed., CRC Press (2005)

Abbreviations:

A = Available

C = All-ceramic design available

F = Fair

G = Good

E = Excellent

H = High

L = Low

M = Medium

NA = Not available

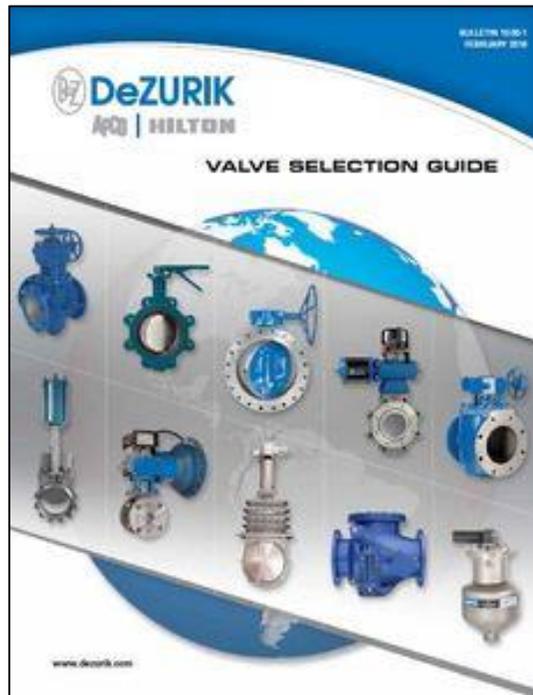
P = Poor

S = Special designs only

Y = Yes

<i>Features & Applications</i>	<i>Ball: Conventional</i>	<i>Ball: Characterized</i>	<i>Butterfly: Conventional</i>	<i>Butterfly: High-performance</i>	<i>Digital</i>	<i>Globe: Single-ported</i>	<i>Globe: Double-ported</i>
Features:							
ANSI class pressure rating (max.)	2500	600	300	600	2500	2500	2500
Max. capacity (C_d)	45	25	40	25	14	12	15
Characteristics	F	G	P	F, G	E	E	E
Corrosive Service	E	E	G	G	F, G	G, E	G, E
Cost (relative to single-port globe)	0.7	0.9	0.6	0.9	3.0	1.0	1.2
Cryogenic service	A	S	A	A	A	A	A
High pressure drop (over 200 PSI)	A	A	NA	A	E	G	G
High temperature (over 500°F)	Y	S	E	G	Y	Y	Y
Leakage (ANSI class)	V	IV	I	IV	V	IV	II
Liquids:							
Abrasive service	C	C	NA	NA	P	G	G
Cavitation resistance	L	L	L	L	M	H	H
Dirty service	G	G	F	G	NA	F, G	F
Flashing applications	P	P	P	F	F	G	G
Slurry including fibrous service	G	G	F	F	NA	F, G	F, G
Viscous service	G	G	G	G	F	G	F, G
Gas/Vapor:							
Abrasive, erosive	C	C	F	F	P	G	G
Dirty	G	G	G	G	NA	G	F, G

GUÍA PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE VÁLVULA



DeZURIK Valve Selection Chart

1 = Typical Application
 2 = May Be Used
 3 = Limited Application
 4 = Not Used

Application Requirements	Butterfly Valves			Plug Valves			Gate Valves		Rotary Control Valves	
	AWWA	Resilient Seated	High Performance	Standard Port Eccentric	100% Port Eccentric	3-Way & 4-Way	Knife Gate	Ported Gate	Rotary Control Valves	V-Port Control Valve
Function:										
On-Off	1	1	1	1	1	4	1	1	1	2
Throttling	1	1	1	1	1	1	3	4	1	1
Diversion	3	3	3	4	4	1	4	4	4	4
Media:										
Liquids (Clean)	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1
Liquids (Dirty)	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1
Liquids (Viscous)	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Liquids (Corrosive)	4	2	1	1	1	1	2	1	1	1
Slurries (Sludge)	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1
Liquids & Slurries (Scaling)	4	4	4	2	2	4	4	1	2	3
Slurries (Abrasive)	4	3	2	2	2	2	1	1	1	3
Slurries (Fibrous)	4	2	2	2	2	1	1	1	4	1
High Pressure Steam (+150lbs.)	4	4	1	4	4	4	4	4	1	3
Low Pressure Steam	4	4	1	3	4	3	4	3	1	1
Gasses (Clean)	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1
Gasses (Dirty)	2	2	3	1	1	1	2	2	1	1
Gasses (Corrosive)	4	2	1	1	1	1	2	2	1	1
Dry Materials	4	2	4	2	2	4	1	1	4	4
Valve Characteristics:										
High Flow Capacity	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
Low Head Loss (Wide Open)	1	1	1	2	1	1	1	1	N/A	1
Low Torque/Thrust	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
High Temp., 800°F+ (425°C+)	4	4	3	3	4	4	1	4	3	4
Cryogenic	4	4	3	4	4	4	4	4	2	4
Erosion Resistance	4	3	2	1	1	3	1	1	1	3
Cavitation (Kc) @ 60% Open	.35	.35	.35	.59	.59	N/A	N/A	N/A	.60	.49
Recovery Factor F _L @ 60% Open	.40	.40	.43	.70	.70	N/A	N/A	N/A	.70	.61

