

GUÍA DE SELECCIÓN

VÁLVULAS DE RETENCIÓN

Las válvulas de retención son también conocidas como válvulas check, válvulas de contraflujo, válvulas de no retorno, entre otros nombres.

Hace ochenta años, los ingenieros tenían sólo que presentar un catálogo de válvula de retención tipo columpio para especificarla en el proyecto, sin importar su aplicación ni su localización. Con el incremento en la demanda de alta eficiencia, confiabilidad y durabilidad, ahora los ingenieros deben analizar las alternativas en las válvulas de retención existentes en el mercado.

Esta guía tiene el propósito de ayudar en la toma de decisiones para la selección de la válvula de retención más adecuada para el proyecto.

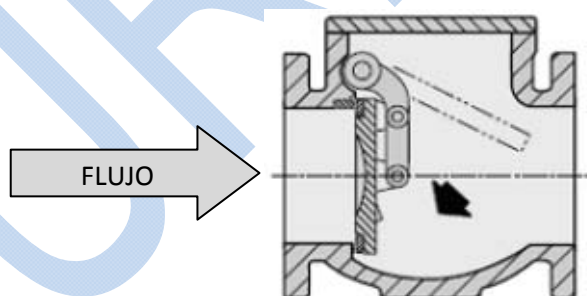
FUNCIONAMIENTO

Las válvulas de retención tienen como propósito permitir el flujo en un sólo sentido, su aplicación principal es en la descarga de bombas. Tiene como función prevenir que el flujo bombeado regrese una vez que las bombas se detienen; también evitan que el flujo de retorno provoque un giro inverso de las bombas, lo cual puede, en algunos casos, dañar los equipos de bombeo.

Las válvulas que contienen resortes o mecanismos internos susceptibles a interceptar sólidos, no pueden utilizarse en aplicaciones de aguas residuales, y su uso se limita a proyectos de agua potable o aguas crudas (pozos).

TIPOS DE VÁLVULAS DE RETENCIÓN

Válvula de retención de columpio - VRC (Swing Check Valve)

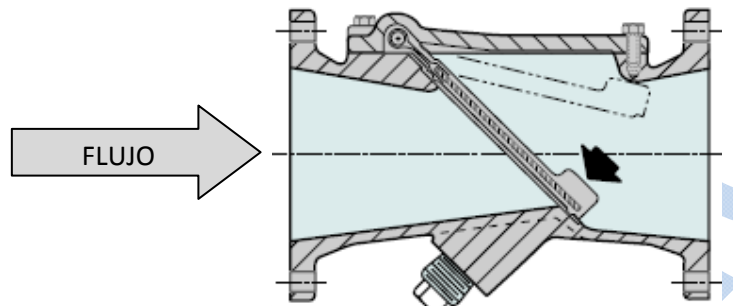


Características Principales

- Es la válvula de retención básica y primera en existir.
- En su posición totalmente abierta, el disco abre 90°, por lo tanto tiene un desplazamiento muy largo (principalmente en diámetros mayores)
- El peso del disco (principalmente en diámetros mayores), genera una alta oposición al flujo, por lo tanto una alta caída de presión.

- Para disminuir la caída de presión y compensar la obstrucción que causa el disco, el cuerpo de la válvula es ensanchado (aspecto de bola) para proporcionar al menos la misma área libre de flujo de la tubería.
- El pasador (normalmente de acero inoxidable), genera mucha fricción con los cojinetes (bujes) en los extremos del cuerpo, lo cual hace más lento el desplazamiento del disco.
- Debido a su cierre lento, algunos fabricantes le han agregado accesorios para acelerarlo, como palancas, contrapesos y resortes. Estos accesorios aceleran el cierre de la válvula, pero incrementan significativamente la caída de presión.
- No es recomendable para aplicaciones de diámetros mayores (por ejemplo mayor a 12"), ni para aplicaciones de alta presión o alta velocidad de flujo.
- Es la que tiene mayor potencial en presentar problemas de golpe de ariete.
- Puede utilizarse en aplicaciones de aguas residuales o con sólidos.

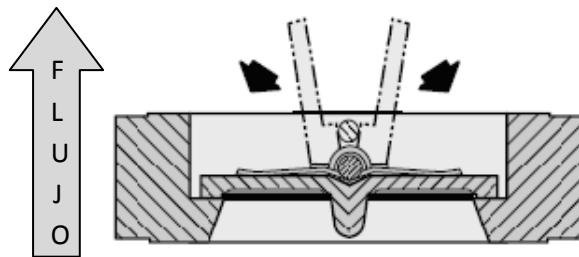
Válvula de retención de columpio de hule inclinado - VRCH (Rubber Flapper Swing Check)



Características Principales

- El disco descansa a 45° y hasta su posición totalmente abierta abre sólo 35°. El desplazamiento del disco es más corto que el de la tradicional válvula de columpio, por lo tanto su cierre es más rápido.
- Disco de menor peso, ya que es mayormente de hule y sólo el núcleo es de hierro, disminuyendo la caída de presión.
- El pasador (normalmente de acero inoxidable), está embebido en el cuerpo de hule del disco, por lo que el disco columpia gracias al pivoteo o flexión del mismo hule, lo que elimina totalmente la fricción del arreglo típico de pasador y cojinetes metálicos. Este tipo de bisagra flexible de hule, disminuye el tiempo de cierre y la caída de presión.
- Presenta una buena combinación entre caída de presión moderada y bajo potencial de presentar problemas de golpe de ariete.
- Es especial para aplicaciones de aguas residuales o con sólidos.
- Para disminuir la caída de presión y compensar la obstrucción que causa el disco, el cuerpo de la válvula es ensanchado (aspecto de bola) para proporcionar al menos la misma área libre de flujo de la tubería.
- Prácticamente libre de mantenimiento.

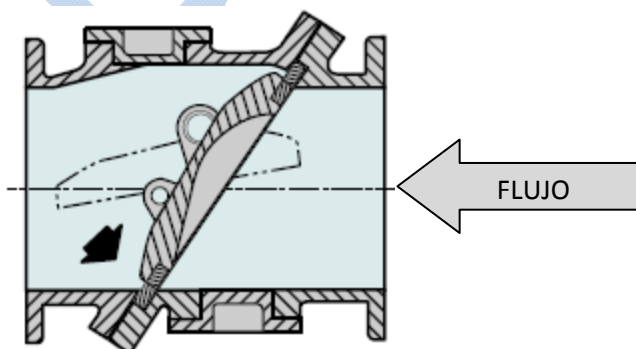
Válvula de retención de doble disco o doble puerta - VRDD (Dual Disc Check Valve)



Características Principales

- El disco está partido en mitades sujetas a un poste intermedio mediante un resorte de torsión. Al dividir el disco en dos partes, se reduce el peso del disco y la distancia de desplazamiento al cierre.
- Las mitades de disco están accionadas por un resorte, lo cual acelera la velocidad de cerrado, pero incrementa la caída de presión.
- Son más propensas a requerir mantenimiento debido al desgaste del resorte de torsión.
- Su cuerpo tipo oblea es muy compacto, lo cual disminuye el uso de material (hierro) para la manufactura del cuerpo, por lo tanto de precio atractivo.
- Su cuerpo tipo oblea no permite el ensanchamiento, por lo que es reducida el área libre de flujo respecto a la tubería, incrementándose la caída de presión.
- Sólo puede utilizarse en aplicaciones de agua potable o agua cruda.

Válvula de Retención de Disco Oblicuo - VRDO (Tilted Disc Check Valve)

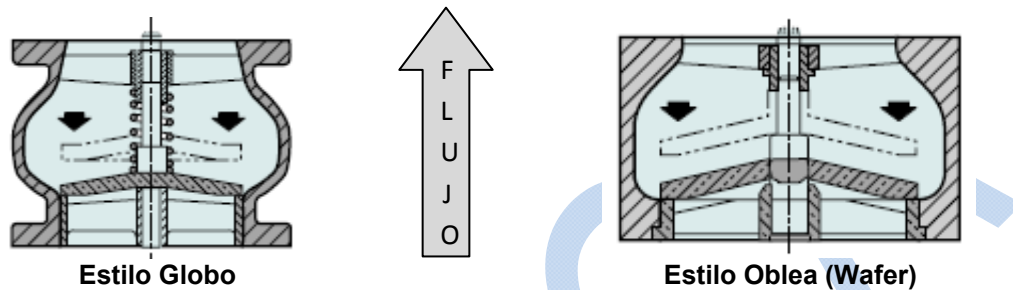


Características Principales

- Es una válvula de columpio pero con pivote excéntrico. El 30% del disco está por arriba del pivote y el 70% por debajo. Cuando el disco abre, el 30% del disco por arriba del pivote auxilia en la apertura del disco (efecto subibaja), lo cual disminuye la caída de presión.
- El disco cierra en un ángulo de 55° y su posición 100% abierta es de 15°, por lo que su desplazamiento es sólo de 40°, lo cual disminuye el tiempo de cerrado.

- El cuerpo está dividido en dos partes (bridado al centro), lo cual ensancha el área libre de flujo al 140% del área de la tubería, disminuyendo las pérdidas de presión pero aumentando su peso, tamaño y costo.
- Sólo puede utilizarse en aplicaciones de agua potable o agua cruda.
- Presenta una muy baja caída de presión y bajo potencial de generar golpe de ariete.

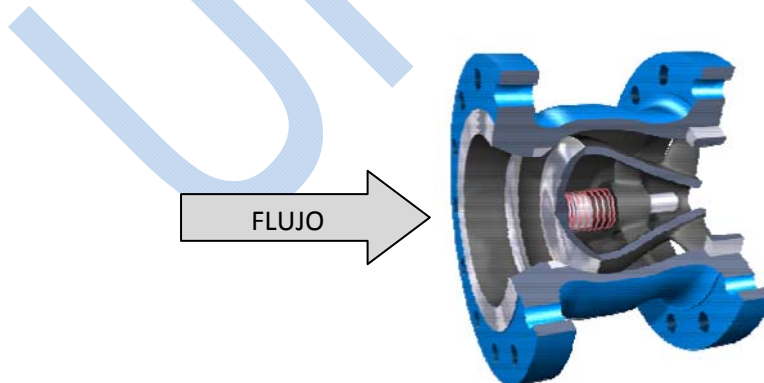
Válvula de retención tipo silenciosa - VRS (Silent Check Valve)



Características Principales

- Se le conoce como silenciosa debido a que no produce golpe de ariete por su alta velocidad de cierre de entre 1/20 y 1/10 de segundo.
- Disponible en cuerpo compacto tipo oblea o globo (bridado). Es más ligera y económica por su cuerpo compacto, pero no puede ser ensanchada, lo cual disminuye el área libre de flujo y aumenta la caída de presión.
- El disco es accionado por un resorte, por lo que cierra rápidamente, pero genera mayor resistencia a la apertura e incrementa la caída de presión.
- La distancia de cierre es lineal y muy corta (aproximadamente $\frac{1}{4}$ de su tamaño), por ejemplo una válvula de 4" tiene una distancia de cierre de 1".
- Sólo puede utilizarse en aplicaciones de agua potable o agua cruda.
- Presenta una alta caída de presión y muy bajo potencial de generar golpe de ariete.

Válvula de retención tipo tobera - VRT (Nozzle Check Valve)



Características Principales

- Diseño similar al de la válvula silenciosa, pero con cono difusor hidrodinámico que disminuye la turbulencia del flujo y la caída de presión. Los conos difusores obligan a un cuerpo alargado y costoso.
- En diámetros mayores el disco es reemplazado por un anillo, lo cual disminuye el peso del disco y acelera el tiempo de cierre, el cual es igual o superior al de la válvula silenciosa.
- Los conos difusores producen una alta velocidad que genera una presión de vacío (efecto Venturi), lo cual ayuda en la apertura del disco o anillo, disminuyendo así la caída de presión, que es la principal desventaja de las válvulas silenciosas.
- Sólo puede utilizarse en aplicaciones de agua potable o agua cruda.
- Presenta una muy baja caída de presión y el más bajo potencial de generar golpe de ariete. Es la más costosa de las válvulas de retención.

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE VÁLVULAS DE RETENCIÓN

Para seleccionar la válvula de retención que debe utilizarse, se debe considerar los siguientes cuatro criterios:

1. Tipo de aplicación: Agua potable, agua cruda o agua residual
2. Potencial de Golpe de Ariete (Water Hammer)
3. Caída de Presión (Head Loss)
4. Costo

TIPO DE APLICACIÓN

La geometría interna de los componentes de la válvula, determina si es posible o no utilizarla en aplicaciones de aguas residuales con sólidos.

Las válvulas con cierre asistido por resorte pueden ser utilizadas en aplicaciones verticales con flujo hacia abajo.

Característica	VRC	VRCH	VRDD	VRDO	VRS	VRT
Menor longitud de instalación			X			
Aplicación agua residual	X	X				
Aplicación agua potable / cruda	X	X	X	X	X	X
Flujo vertical hacia arriba	X	X	X	X	X	X
Flujo vertical hacia abajo			X		X	X
Cierre silencioso					X	X

POTENCIAL DE GOLPE DE ARIETE

El flujo del agua toma su dirección del punto de mayor presión al punto de menor presión. En un sistema de bombeo, el punto de mayor presión es la descarga de la bomba, justamente donde se instala la válvula de retención. Sin embargo, cuando la bomba se detiene, la descarga de la bomba se convierte en el punto de menor presión, por lo que al detenerse la bomba el flujo sigue hacia delante por su propia inercia y después se detiene para iniciar su flujo de regreso hacia la válvula de retención.

Cuando la bomba se detiene, la velocidad en el flujo normal empieza a disminuir y la válvula de retención se empieza a cerrar. Idealmente la válvula de retención debiera cerrar simultáneamente cuando la velocidad del flujo llega a cero antes de que se genere el flujo de reversa. Sin embargo dicha condición ideal no existe en la realidad, por lo que el flujo de reversa alcanza a la válvula de retención antes de que ésta se cierre totalmente. El flujo de reversa puede causar el azote del disco de la válvula de retención contra el asiento de la válvula, lo cual genera ruido y vibración. Sin embargo la fuente principal del ruido y vibración no es el azote del disco con el asiento de la válvula, sino el golpe de ariete que se genera.

El golpe de ariete es el cambio de presión que ocurre al cambiar súbitamente la velocidad del flujo de agua. En el caso del flujo de reversa, el flujo de reversa es frenado instantáneamente por el cierre brusco (azote) de la válvula de retención, por lo que el pistón de agua choca contra el disco y se comprime expandiéndose hacia los lados y hacia atrás. La energía del golpe de ariete la podemos comprender mejor con el ejemplo de un choque automovilístico, cuando el auto avanza a una determinada velocidad y repentinamente choca de frente contra una estructura, el auto se impacta e inmediatamente tiende a comprimirse hacia los lados y hacia atrás; si la colisión ocurre a alta velocidad, mayor es la energía liberada traducida en mayores destrozos al vehículo y a la estructura.

Una situación similar pasa con el flujo de reversa que se estrella contra el disco de la válvula de retención, dicha colisión genera una onda expansiva que golpea la tubería (por dentro), alcanzándose a escuchar un golpe similar al de un martillo, por eso se conoce como "Water Hammer". En el momento del golpe de ariete, la compresión del pistón de agua genera una sobrepresión que en algunos casos puede causar severos daños al sistema.

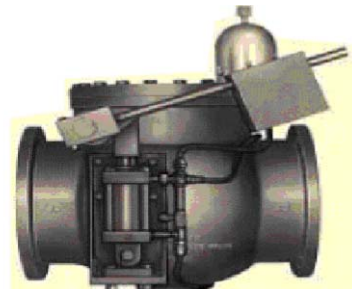
Para prevenir el golpe de ariete y azote de la válvula de retención, ésta debe:

- Cerrar rápidamente antes que el flujo de reversa alcance una velocidad considerable, con lo que se detiene el flujo de reversa instantáneamente pero su velocidad de choque es todavía baja.
- Cerrar lentamente (válvulas de retención con amortiguadores) después que el flujo de reversa se haya desarrollado, de esta manera la velocidad del flujo de reversa es alta pero se detiene gradualmente y no de forma instantánea.

Aumenta potencial de golpe de ariete	Disminuye potencial de golpe de ariete
Velocidades de flujo por arriba de 1.2 m/s Presiones altas y diámetro mayor Bombeo con fuerte pendiente ascendente Bombeo múltiple en paralelo	Velocidades de flujo por debajo de 1.2 m/s Presiones bajas y diámetro menor Bombeo con suave pendiente ascendente o plana



Válvula de retención de columpio con amortiguador de aceite inferior



Válvula de retención de columpio con amortiguadores de aceite laterales

Típicos Amortiguadores Neumáticos o Hidráulicos (aceite)

Para que las válvulas de retención cierren lentamente se requiere agregar amortiguadores especiales que son muy costosos y sólo se justifican en proyectos muy delicados. Además se requiere que las

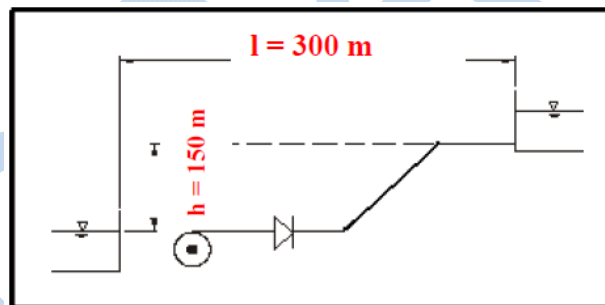
bombas toleren flujo de reversa que puede generar rotación inversa. Las válvulas con amortiguadores de cierre lento están fuera del alcance de esta guía y su selección debe reservarse al diseñador y al fabricante de la válvula.

Para que una válvula cierre rápidamente se requiere cumplir los siguientes requisitos:

- El disco debe ser ligero (por ejemplo VRCH, VRDD, VRDO, VRS y VRT)
- El desplazamiento del disco debe tener baja fricción (por ejemplo VRCH, VRDD, VRS y VRT)
- El viaje del disco debe ser corto (por ejemplo VRCH, VRDD, VRDO, VRS y VRT) o debe ser asistido con resortes (por ejemplo VRC con resorte)
- La trayectoria del viaje del disco debe ser lineal (ejemplo VRS y VRT) y no curva (ejemplo VRC, VRCH, VRDD y VRDO). En una válvula de disco con desplazamiento lineal, el porcentaje de viaje del disco es igual al porcentaje de área de flujo, por ejemplo una válvula con el disco 95% cerrado sólo tiene el 5% de área de flujo, lo cual evita el desarrollo de alta velocidad de reversa. Sin embargo las válvulas de retención con disco de trayectoria curva, un disco 95% cerrado puede representar un área de flujo de 20 a 30%, lo cual es suficiente para permitir la aceleración del flujo de reversa.

Obviamente la válvula de retención que cierre más rápido va a tener el menor potencial de presentar golpe de ariete, sin embargo estas válvulas son más costosas o generan una mayor caída de presión, por lo que es necesario estimar todos los factores involucrados en el proyecto.

Ejemplo: Una bomba con una línea de conducción de 300 metros de longitud descargando en un tanque elevado a 150 metros de altura, se puede calcular la aceleración del flujo de reversa de la siguiente manera:



Típico ejemplo de bombeo sencillo

$$\frac{d_v}{d_t} = \frac{gh}{l} = \frac{10(150)}{300} = 5 \frac{m}{s^2}$$

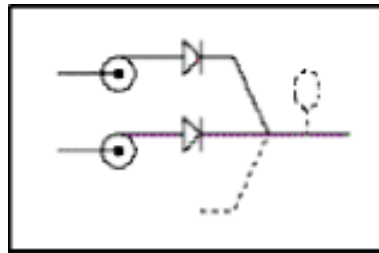
O sea que la velocidad del flujo de reversa se acelera a razón de 5 m/s por cada segundo que tarde en cerrar la válvula de retención.

NOTA: El cálculo detallado de la aceleración del flujo de reversa puede ser complicado ya que involucra muchos parámetros como la inercia de las bombas (provista por el fabricante de las bombas), la longitud de la columna de agua, las pérdidas por fricción y la carga estática del sistema de tubería. Normalmente se requiere que ingenieros especializados en golpes de ariete determinen la aceleración del flujo de reversa apoyados en programas de cómputo que simulan las condiciones de operación.

Conforme más alta sea la carga o la altura de bombeo (presión), más riesgo existe que se genere una alta velocidad de reversa. Por otro lado mientras más larga sea la longitud de la línea de conducción, más baja es la velocidad de reversa resultante.

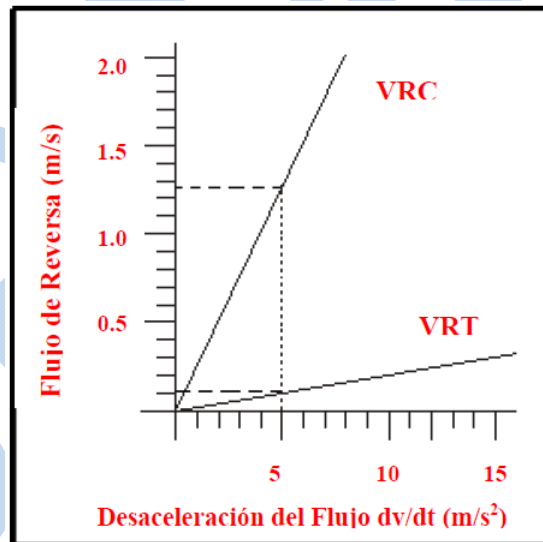
Para instalaciones de bombeo de baja presión y con largas líneas de conducción, normalmente no se tiene ningún problema de golpe de ariete y cualquier válvula de retención sencilla y económica, puede usarse. Sin embargo para aplicaciones de alta presión y bombeos múltiples, el riesgo de golpe de ariete es tan serio que sólo ciertas válvulas de retención de cierre muy rápido, pueden utilizarse.

Cuando se tienen bombes múltiples en operación simultánea, el paro de una bomba genera un flujo de reversa instantáneo debido a que las demás bombas están descargando en el mismo múltiple de descarga. Las torres de oscilación, tanques hidroneumáticos y demás dispositivos utilizados para controlar el golpe de ariete generan el mismo efecto.



Bombeo múltiple

De las curvas dinámicas de las válvulas de retención podemos conocer la velocidad de reversa que se va a generar dependiendo del tipo de válvula que utilizemos. Es responsabilidad del fabricante entregar las curvas de comportamiento dinámico de las válvulas, sin embargo rara vez lo hacen y sólo algunos han sometido sus válvulas a las pruebas requeridas para poder obtener las curvas de comportamiento dinámico. En esta ocasión vamos a hacer un ejemplo entre una VRC y una VRT.



Curva dinámica de VRC y VRT

Ejemplo: Para el ejemplo anterior, teníamos un sistema de bombeo sencillo con una aceleración del flujo de reversa de 5 m/s^2 , en caso de tener instalada una VRC, la velocidad de reversa generada es de 1.27 m/s de acuerdo a la gráfica de curvas dinámicas anteriormente mostrada; mientras para una VRT la velocidad de reversa es sólo de 0.1 m/s . Una vez obtenida la velocidad de reversa podemos calcular el golpe de ariete, pero se requiere hacer uso de un par de fórmulas que pueden resultar complejas de manejar, por lo que para los propósitos de esta guía manejaremos un aproximado de 3 kg/cm^2 (43 psi) por cada 0.3 m/s de velocidad de reversa. Por lo tanto tenemos:

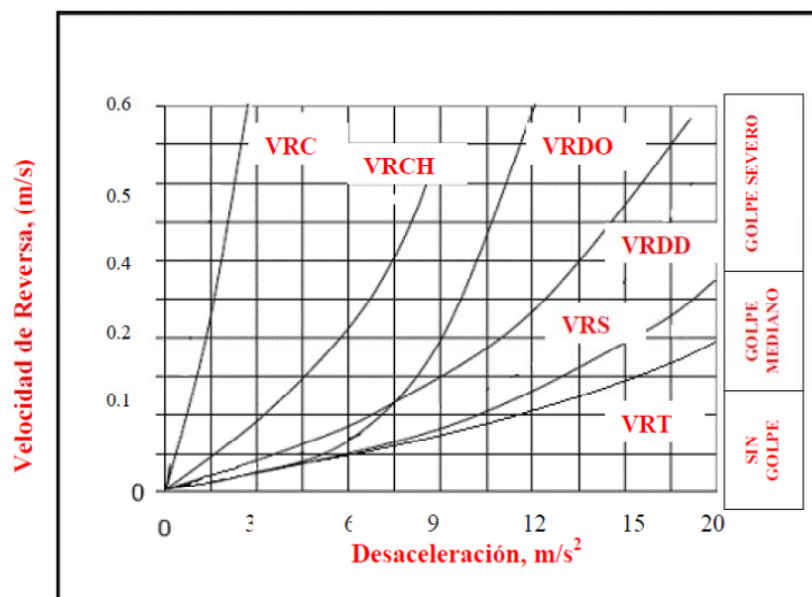
- Para válvula VRC $\frac{1.27 \text{ m/s}}{0.3 \text{ m/s}} = 4.2 \left(3 \text{ kg/cm}^2 \right) = 12.6 \text{ kg/cm}^2$ (179 psi)

- Para válvula VRT $\frac{0.1 \text{ m/s}}{0.3 \text{ m/s}} = 0.33 \left(3 \text{ kg/cm}^2 \right) = 1 \text{ kg/cm}^2 \text{ (14 psi)}$

Del ejemplo anterior podemos visualizar como el uso de una válvula de retención tradicional VRC puede acarrear serios problemas de golpe de ariete.

Normalmente una instalación de una bomba sencilla bombeando a baja carga genera aceleraciones de la velocidad de reversa menores a 6 m/s², mientras bombes múltiples de alta presión generan aceleraciones del flujo de reversa de hasta 12 m/s².

La experiencia en el campo ha demostrado que golpes de ariete entre 1.5 y 3 kg/cm² (21.5 y 43 psi) son moderados y normalmente pueden tolerarse, sin embargo golpes de ariete mayores a 3 kg/cm² (43 psi), o sea velocidades de reversa de superiores a 0.30 m/s son extremadamente ruidosos y deben ser evitados.



Curvas dinámicas de varias válvulas de retención

Ejemplo: Una estación de bombeo múltiple donde el diseñador calculó una aceleración del flujo de reversa de 9 m/s² (muy fuerte), las siguientes predicciones de flujo de reversa e intensidad del golpe de ariete serían obtenidas:

Tipo de válvula	Velocidad de reversa (m/s)	Golpe de ariete
VRT	0.08	Ninguno
VRS	0.10	
VRDD	0.18	Moderado
VRDO	0.24	
VRCH	0.50	Severo
VRC	2.00	

CAÍDA DE PRESIÓN

Hay dos cosas seguras respecto a la caída de presión de las válvulas de retención:

- Todas las válvulas de retención generan caída de presión
- La caída de presión genera costos de energía eléctrica al incrementarse el consumo de energía de las bombas.

La importancia de la caída de presión es variable; puede no ser muy importante para sistemas de bombeo pequeños o de flujo a gravedad, sin embargo para sistemas de bombeo de gran diámetro se torna por demás importante, ya que el consumo de energía eléctrica es significativo.

Hay tres factores que afectan la caída de presión de las válvulas de retención:

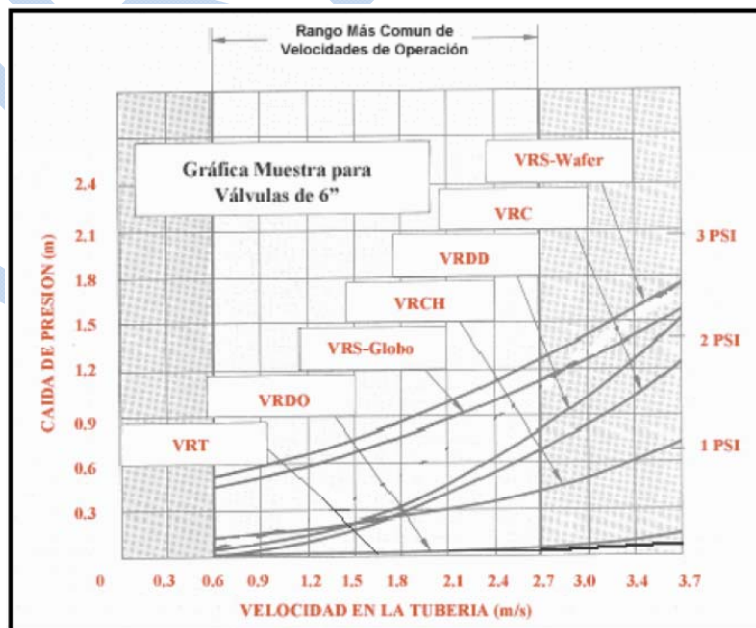
1. **Diseño del cuerpo:** Los cuerpos que presentan mayor área hidráulica para el flujo y componentes internos de menor tamaño, generan menor obstrucción al paso del flujo y menor caída de presión. Las válvulas con cuerpo tipo globo presentan una mayor área de flujo, sin embargo sus dimensiones, peso y costo se incrementan (VRS-Globo, VRDO y VRT). Muchas de éstas válvulas ofrecen un área de flujo incluso mayor que la del diámetro nominal de la línea.

Las válvulas de retención de cuerpo corto generan mucha turbulencia y mayor caída de presión (VRDD y VRS-Wafer).

2. **Diseño del disco:** Los discos de menor masa y menor fricción en su desplazamiento van a generar menor caída de presión. Ejemplos son las VRDD, VRDO y VRT. La inclinación del disco también importa. En las VRCH el disco inclinado se sostiene flotando por encima del flujo y no obliga al flujo a desplazarlo 90° como sucede con las VRC. Por otro lado, las válvulas con disco asistido por resorte para cierre rápido (VRDD, VRS y VRT) generan mayor caída de presión por la necesidad de comprimir el resorte.

3. **Costos de adquisición, energía y mantenimiento:** Hay dos costos que siempre se deben analizar, el costo de compra inicial y el costo de energía y mantenimiento. Las válvulas con menor costo inicial como las VRDD y las VRC, son las que generan mayor costo de energía, por pérdida de carga generan y requieren de mayor mantenimiento.

Hay válvulas accionadas por resorte (VRT) o de disco por gravedad (VRDO) que en base a un diseño hidrodinámico determinado, logran reducir sus pérdidas de carga, sin embargo su costo de construcción se aumenta.



CAÍDA DE PRESIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA

Si hacemos un ejemplo para calcular la caída de presión y su correspondiente costo en consumo de energía, podemos apreciar la diferencia entre utilizar los distintos tipos de válvulas de retención.

Ejemplo:

Para una bomba de 500 LPS con una línea de descarga de 20", tenemos una velocidad de flujo de 2.6 m/s. Las caídas de presión (ΔP) serían las siguientes:

Tipo de válvula	ΔP (m)	Potencia Consumida (HP)*	Costo Energía \$USD/año**
VRS – Wafer	1.30	11.40	\$ 7,450.00
VRA – Globo	1.10	9.60	\$ 6,274.00
VRDD	0.80	7.00	\$ 4,275.00
VRC	0.70	6.10	\$ 3,986.00
VRCH	0.45	3.90	\$ 2,549.00
VRDO – VRT	0.05	0.44	\$ 288.00

*La potencia consumida por la bomba en HP's debido a la caída de presión causada por la válvula de retención, se calcula con la siguiente fórmula (suponiendo una eficiencia de la bomba de 75%):

$$HP = \frac{LPS (m)}{76 (Eficiencia)}$$

** El costo del consumo de energía se calcula con la siguiente fórmula:

$$Costo de Energía = HP \left(\frac{0.746 \text{ kw}}{1 \text{ HP}} \right) \left(\frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \right) \left(\frac{365 \text{ días}}{\text{año}} \right) \left(\frac{\$0.10 \text{ USD}}{\text{kw} - \text{hr}} \right)$$

Supone bomba operando 24 horas al día y un costo kw-hora de \$0.10 dólares por kw-hora (valores típicos).

SELECCIÓN DE VÁLVULAS DE RETENCIÓN

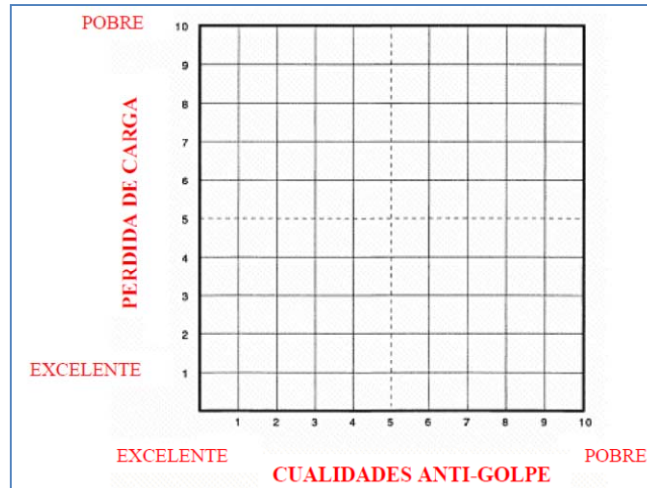
Debido a que los componentes internos de la válvula, definen su posible utilización en aplicaciones de aguas residuales con sólidos, la evaluación de factores para la selección se limita a sólo tres criterios que sumados completan el 100%.

$$WH + HL + \$ = 100\%$$

WH = Golpe de ariete HL = Caída de presión \$ = Costo de la válvula

De acuerdo a esta ecuación, conforme disminuye uno de los criterios, tiene que aumentar otro para seguir completando el 100%. Por lo que en una válvula de retención no puede tener una baja caída de presión sin sufrir un aumento en el potencial de golpe de ariete o costo de la válvula.

De la misma manera, una válvula con bajo potencial de golpe de ariete, normalmente genera mayor caída de presión. Para el caso de las válvulas de disco oblicuo o tobera que tienen baja caída de presión y potencial de golpe de ariete, su precio incrementa significativamente.



En la gráfica anterior se muestra un sistema de coordenadas donde las válvulas se califican del 1 al 10 respecto a caída de presión y protección anti-golpe de ariete, siendo 1 el mejor valor y 10 el peor. Las válvulas del cuadrante inferior izquierdo serían entonces las mejores y las del cuadrante superior derecho las peores.

A la gráfica superior hay que agregar el precio. Si la válvula más abajo a la izquierda de la gráfica se ajusta al presupuesto del proyecto, debe ser seleccionada. Por último hay que tomar en cuenta los costos de mantenimiento y vida útil. Instalaciones grandes y de importancia estratégica (acueductos) requieren componentes libres de mantenimiento o reemplazo frecuente.

Tipo de válvula	Caída presión	Protección vs. Golpe de ariete	Costo Adquisición	Costo adquisición
VRC	4	9	2	8
VRC con contrapesos o resortes	6 – 7	2 – 3	6	7
VRCH	3	5	5	3
VRDD	5	3	1	9
VRDO	2	4	7	2
VRS-Globo	8	2	4	5
VRS-Wafer	9	2	3	6
VRT	1	1	9	1