

20
22

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



OPERACION Y DISEÑO DE VALVULAS DE CONTROL EN SISTEMAS DE PRODUCCION DE HIDROCARBUROS.

LIBRO CON
FALDA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A :

DIANA ELIZABETH GARCIA ROMAN





UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE GENERAL

INTRODUCCION	4
CAPITULO I CARACTERISTICAS DE CONTROL DE FLUJO	5
1.1 Definición.	5
1.2 Característica de Control de Apertura Rápida.	5
1.3 Característica de Control Lineal.	7
1.4 Característica de Control de Igual Porcentaje.	7
1.5 Característica de Control Modificada.	7
CAPITULO II TIPOS DE VALVULAS.	9
2.1 Cuerpo de la Válvula.	9
2.2 Válvula de Globo.	9
2.2.1 Válvula de Puerto Sencillo.	10
2.2.2 Válvula de Puerto Doble.	10
2.2.3 Válvula de Caja.	10
2.2.4 Válvula de Angulo.	13
2.2.5 Válvula de Tres Vías.	13
2.2.6 Ventajas y Limitaciones.	13
2.3 Válvula de Mariposa.	17
2.3.1 Descripción.	18
2.3.2 Ventajas y Limitaciones.	18
2.4 Válvula de Bola.	20
2.4.1 Descripción.	20
2.4.2 Ventajas y Limitaciones.	22
CAPITULO III CRITERIOS DE SELECCION.	23
3.1 Generalidades.	23
3.2 Capacidad.	23
3.3 Rango de Control de Flujo.	24
3.4 Restablecimiento de Presión.	25
3.5 Condiciones de Operación.	28
3.6 Normas para Goteo en el Asiento de la Válvula.	29
3.6.1 Clases de Goteo.	29
3.6.1.1 Clase I	30

3.6.1.2 Clase II	30
3.6.1.3 Clase III	30
3.6.1.4 Clase IV	30
3.6.1.5 Clase V	30
3.6.1.6 Clase VI	30
3.6.2 Procedimientos de Prueba.	31
3.6.2.1 Procedimiento de Prueba Tipo A.	31
3.6.2.2 Procedimiento de Prueba Tipo B.	31
3.6.2.3 Procedimiento de Prueba Tipo C	
Clase VI	32
3.7 Costo.	34
CAPITULO IV DIMENSIONAMIENTO DE VALVULAS.	36
4.1 Dimensionamiento para Líquidos.	36
4.1.1 Determinación del Factor Geométrico, F_p .	39
4.1.2 Determinación del Factor de Flujo Crítico F_y , o la Caída Permisible de Presión, Δ_{PT} .	43
4.1.2.1 Determinación de F_y .	43
4.1.2.2 Determinación de Δ_{PT} .	47
4.1.3 Determinación del Factor del Número de Reynolds, F_R .	49
4.2 Dimensionamiento para Gases.	53
4.2.1 Determinación del Factor de Expansión Y .	55
4.2.2 Determinación de x_{TP} , el Factor del Coeficiente de Caída de Presión.	56
4.3 Dimensionamiento para Dos Fases.	58
CAPITULO V FLUJO CRITICO Y PREDICCIÓN DEL RUIDO.	62
5.1 Estado del Fluido.	62
5.1.1 Vaporización.	64
5.1.2 Cavitación.	64
5.1.2.1 Control de la Cavitación.	66
5.2 Criterios de Ruido.	68
5.3 Ruido Hidrodinámico	71
5.4 Ruido Aerodinámico	80

CAPITULO VI EJEMPLOS DE APLICACION.	91
6.1 Ejemplos para Liquidos.	91
6.2 Ejemplos para Gas.	102
6.3 Ejemplos para Dos Fases.	109
6.4 Ejemplos para predicción de ruido	111

CONCLUSIONES

NOMENCLATURA

REFERENCIAS

APENDICE A. Tablas de coeficientes de flujo.

APENDICE B. Prueba hidrostática de valvulas.

I N T R O D U C C I O N

Uno de los elementos de control de procesos que presenta un amplio uso en la industria petrolera, es la válvula de control. Una válvula de control interactúa directamente sobre la corriente de un proceso con la finalidad de provocar una cantidad adecuada de caída de presión, para mantener a un sistema total en balance bajo las condiciones de operación requeridas. Mediante la regulación de caídas de presión se logra el control de flujo, nivel, presión, etc., de ahí su importancia. Su aplicación comenzó a principio de los treinta, aunque las actividades de estandarización para el dimensionamiento de válvulas de control puede remontarse a principios de los 60's cuando una asociación de comercio americana llamada Instituto de Control de Fluidos, publicó ecuaciones de dimensionamiento para fluidos compresibles e incompresibles. El rango de condiciones de operación para el cual estas ecuaciones eran precisas, era muy reducido por lo que la norma no alcanzó un alto grado de aceptación.

En 1967 la Sociedad de Instrumentos de América (ISA) estableció un comité con el propósito de desarrollar y publicar ecuaciones estándar. Los esfuerzos de este comité culminaron con el procedimiento de dimensionamiento de válvulas de control que cumplía con los requerimientos de la Norma Nacional Americana (American National Standard). Después un comité de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) utilizó el trabajo de la ISA para formular normas de diseño internacional para el dimensionamiento de válvulas de control. Excepto por algunas ligeras diferencias en el procedimiento y nomenclatura, las normas ISA e IEC han sido armonizadas.

El propósito de esta tesis es el de presentar estos procedimientos de dimensionamiento, además de incluir otros aspectos sobre válvulas de control, lo cual con llevará a un mejor entendimiento de éstas y una selección adecuada.

CAPITULO I

CARACTERISTICAS DE CONTROL DE FLUJO

1.1 Definición.

La característica de control de flujo de una válvula de control es la relación entre el gasto a través de la válvula y la apertura de la misma, en donde la apertura varía de 0 a 100%. La "característica inherente de flujo" se refiere a la característica observada con una caída de presión constante a través de la válvula. Por "característica instalada de flujo", nos referimos a la característica obtenida en servicio, en donde la caída de presión varía con respecto al flujo y otros cambios en el sistema.

La figura 1 ilustra las curvas de estas características.

1.2 Característica de Control de Apertura Rápida.

Esta característica proporciona una variación máxima en el gasto con una pequeña variación en la apertura de la válvula con una relación casi lineal. Un incremento adicional en la apertura produce una reducción en el gasto; cuando la válvula este cerca de su apertura total, el cambio en el gasto se aproxima a cero. Su comportamiento es aproximadamente lineal en un 25% de apertura, operando casi al 50% de su capacidad. Este tipo de válvulas se utiliza principalmente para servicios de abierto-cerrado. También es aplicable en servicios donde se requieran válvulas con características lineales.

CARACTERISTICAS DE CONTROL

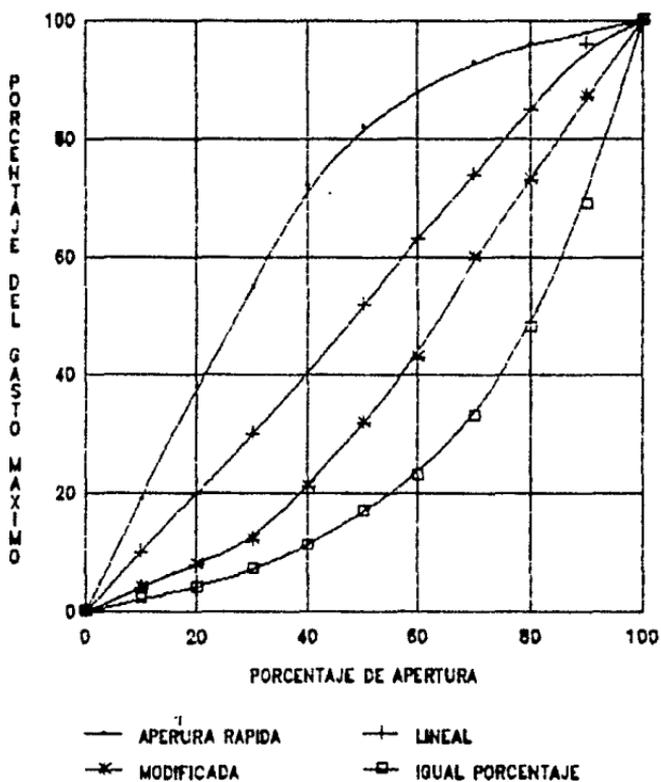


FIGURA 1

1.3 Característica de Control Lineal

La curva de característica de flujo lineal muestra que el gasto es directamente proporcional a la apertura de la válvula. Esta relación proporcional produce una característica con una pendiente constante, con una caída de presión también constante, de tal forma que la ganancia de la válvula será la misma a cualquier gasto (la ganancia de la válvula se define como el cociente de un incremento en el flujo, entre el incremento en la apertura. La ganancia es una función del diámetro de la válvula y del tipo o diseño, condiciones de operación, etc.). Las válvulas con características de control lineal son comúnmente especificadas para control de nivel de líquido y para ciertas aplicaciones de control de flujo que requieren ganancia constante.

1.4 Característica de Control de Igual Porcentaje

Un incremento en la apertura de la válvula produce un cambio de igual porcentaje en el flujo existente. La variación en el gasto es siempre proporcional al gasto justo antes del cambio en la apertura. Cuando la válvula está casi cerrada y el flujo es pequeño, la variación en el gasto será pequeña; con flujo alto, la variación en el gasto será grande. Las válvulas de control con características de igual porcentaje son utilizadas generalmente para el control de presión, otras aplicaciones en donde un gran porcentaje de la caída de presión es absorbida normalmente por el sistema, con sólo un porcentaje relativamente pequeño disponible para la válvula. También se deberá considerar este tipo de válvula en donde puedan presentarse condiciones de alta variación en la caída de presión.

1.5 Característica de Control Modificada.

Existen numerosas variaciones de las tres características básicas mencionadas anteriormente, que dependen del diseño del cuerpo de la válvula, interiores y del actuador. También dependen del fabricante. Algunos pueden proporcionar dispositivos que

satisfagan características específicas que cubran las necesidades de cada proceso. Cuando se tengan procesos que no sean cubiertos por alguna de las tres características anteriores, se tiene la posibilidad de recurrir a válvulas y actuadores de diseño especiales.

CAPITULO II

TIPOS DE VALVULAS

2.1 Cuerpo de la Válvula

Es la parte de la válvula de control que maneja el fluido de proceso. Cuando este se encuentra adecuadamente operando por un actuador, modulará el flujo del fluido del proceso para ayudar a regular la presión, flujo, nivel u otra variable. El ensamble del cuerpo de la válvula consiste en un cuerpo resistente a la presión un dispositivo de cierre superior y los interiores. Generalmente el estilo y forma de la válvula depende del tipo de interiores que ésta contiene, además de los requerimientos de conexiones que necesita la tubería en particular.

Debido a las crecientes necesidades en los procesos se ha desarrollado una extensa variedad de tipos de válvulas de control para satisfacerlas. Sin embargo, para aplicaciones normales de control, tres tipos de válvulas son capaces de cubrir la gran mayoría de estas aplicaciones. Estos tipos son:

- a) Válvula de globo.
- b) Válvula de mariposa.
- c) Válvula de bola.

2.2 Válvula de Globo

La característica común de estas válvulas es su forma de globo. Son las más comúnmente usadas y cuando el término válvula de control se menciona, normalmente se piensa en una válvula de

globo.

2.2.1 Válvulas de Puerto Sencillo.

La figura 2 muestra una válvula de este tipo. Debido a su construcción sencilla, de fácil mantenimiento y economía en su diseño básico, estas válvulas son de amplio uso. Se puede considerar que estas válvulas intervienen en la mayoría de las aplicaciones que requieren una válvula de control. Las válvulas de puerto sencillo tienen como característica el asegurar cierre hermético, pero debido a deficiencias en el diseño del tapón, este estará sujeto a fuerzas de desbalance debido a diferencias entre el área inferior y el área superior de este tapón, lo que hace necesario el uso de actuadores potentes.

2.2.2 Válvulas de Puerto Doble.

Estas reducen hasta en un 70% la magnitud de las fuerzas de desbalance, debido a que estas fuerzas, entre el tapón superior y el interior tienden a compensarse. La principal desventaja de este diseño es la de no poder asegurar cierre hermético debido a las deficiencias en el maquinado de los interiores. Su uso era extenso, pero debido a su alto costo, gran tamaño y bajo restablecimiento de presión, han sido desplazados por otros diseños más eficientes. Esta válvula se muestra en la figura 3.

2.2.3 Válvula de Caja

Otra forma de interiores semibalanceados es proporcionada por la válvula de caja. Esta usa un pistón que hace las veces de tapón rodeado por una caja cilíndrica, que a la vez de sostener el anillo del asiento, define la característica de la válvula, por medio del perfil de los orificios practicados en el contorno de la caja. El balance en los interiores es debido a unos orificios practicados en la parte superior del pistón, esto minimiza los cambios en fuerza ejercida por la presión a través del tapón, durante el viaje de éste, permitiéndole mayores caídas de presión sin causar mayor inestabilidad. Su principal ventaja reside en su

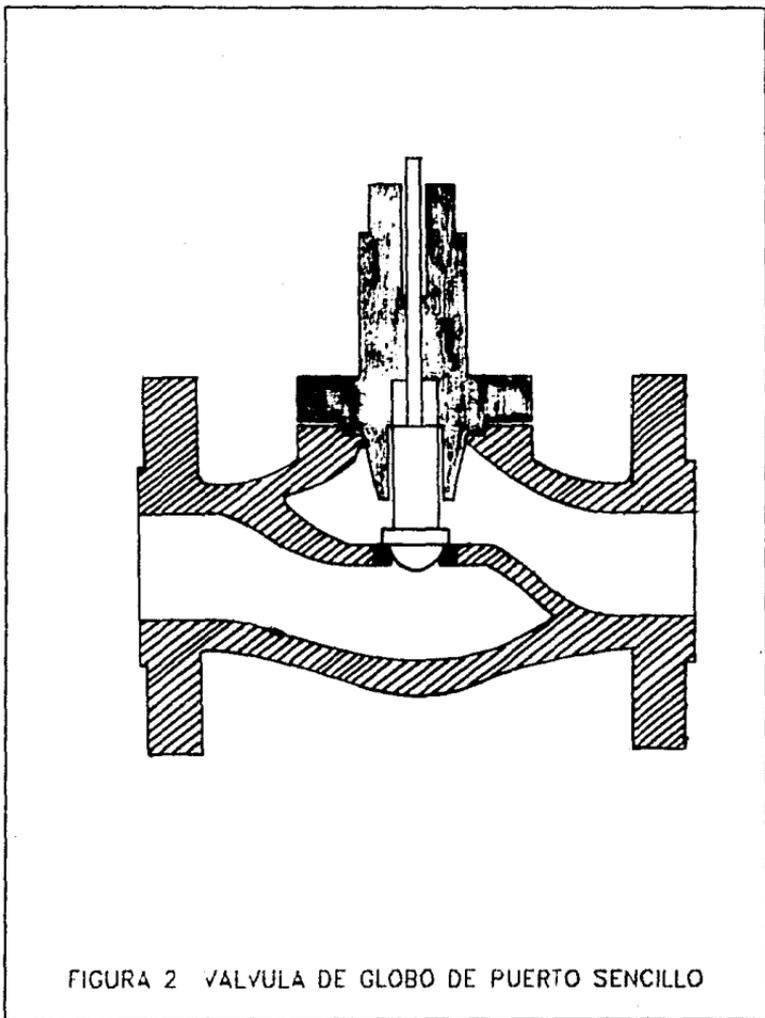


FIGURA 2 VALVULA DE GLOBO DE PUERTO SENCILLO

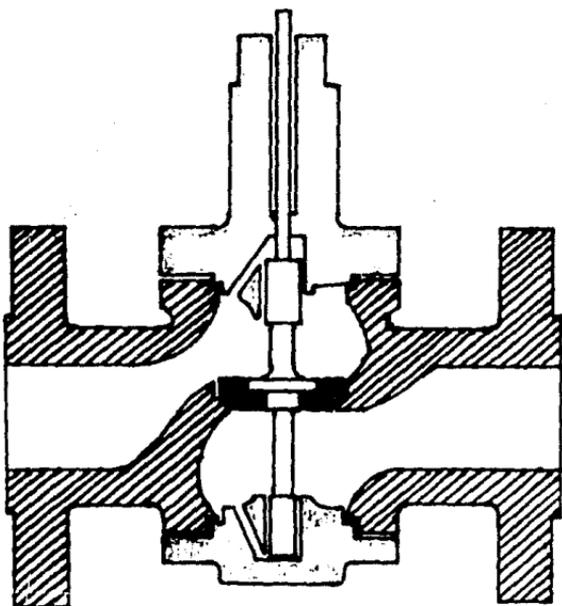


FIGURA 3 VALVULA DE GLOBO DE PUERTO DOBLE

facilidad de mantenimiento, así como su principal desventaja consiste que sólo puede proporcionar cierre hermético con diseños especiales, lo que eleva el costo de la válvula. La figura 4 muestra una válvula de globo de caja.

2.2.4 Válvula de Angulo.

Aunque su uso es poco común, su diseño las hace adecuadas en servicios con alta caída de presión, aplicaciones donde es necesario cubrir requerimientos especiales de arreglos de tuberías, servicios que requieren autodrenaje o para servicios erosivos donde el choque con partículas sólidas debe ser evitado. La Figura 5 muestra una válvula de globo de ángulo.

2.2.5 Válvulas de Tres Vías.

Las válvulas de globo especializadas son las de tres vías. Son usadas principalmente para dos tipos de servicios: mezclado de dos corrientes y separación o división de una corriente en otras dos. La Figura 6 muestra una válvula de globo de tres vías.

2.2.6 Ventajas y Limitaciones

Las válvulas de globo de puerto sencillo son de construcción simple y proporcionan un cierre firme con poca o ninguna fuga cuando son nuevas o están en buenas condiciones. Disponen de puertos reversibles. Su limitación consiste en que el desbalance provocado por la diferencia de áreas hace necesaria la utilización de un actuador relativamente grande. También están caracterizadas por tener bajo restablecimiento de presión y un rango limitado de control de flujo.

Las válvulas de globo de puerto doble, por su diseño requieren actuadores de menor tamaño en comparación a las de puerto sencillo. Esta limitada en cuanto a que presenta fugas relativamente altas al cierre (1% de su capacidad), su bajo restablecimiento de presión, y fugas debidas a la erosión. No son recomendables en aplicaciones de alto flujo y baja presión. También presenta un rango limitado de control.

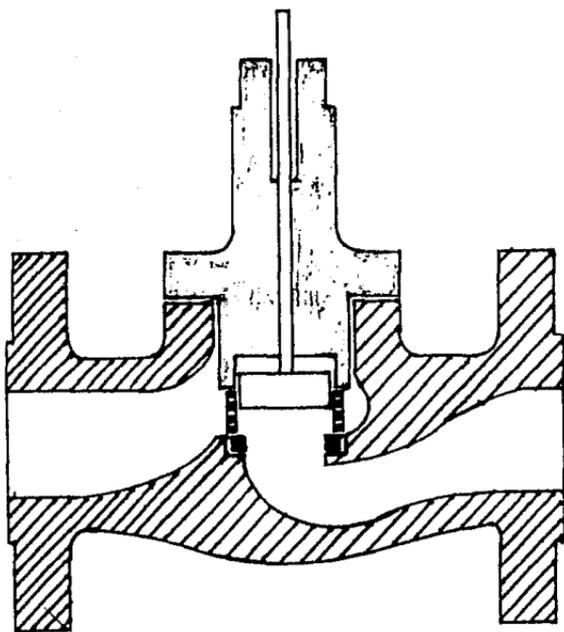


FIGURA 4 VALVULA DE GLOBO DE CAJA

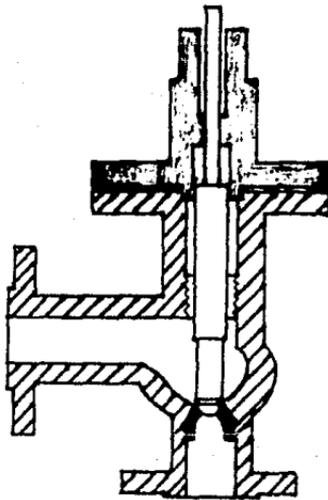


FIGURA 5 VALVULA DE GLOBO DE ANGULO

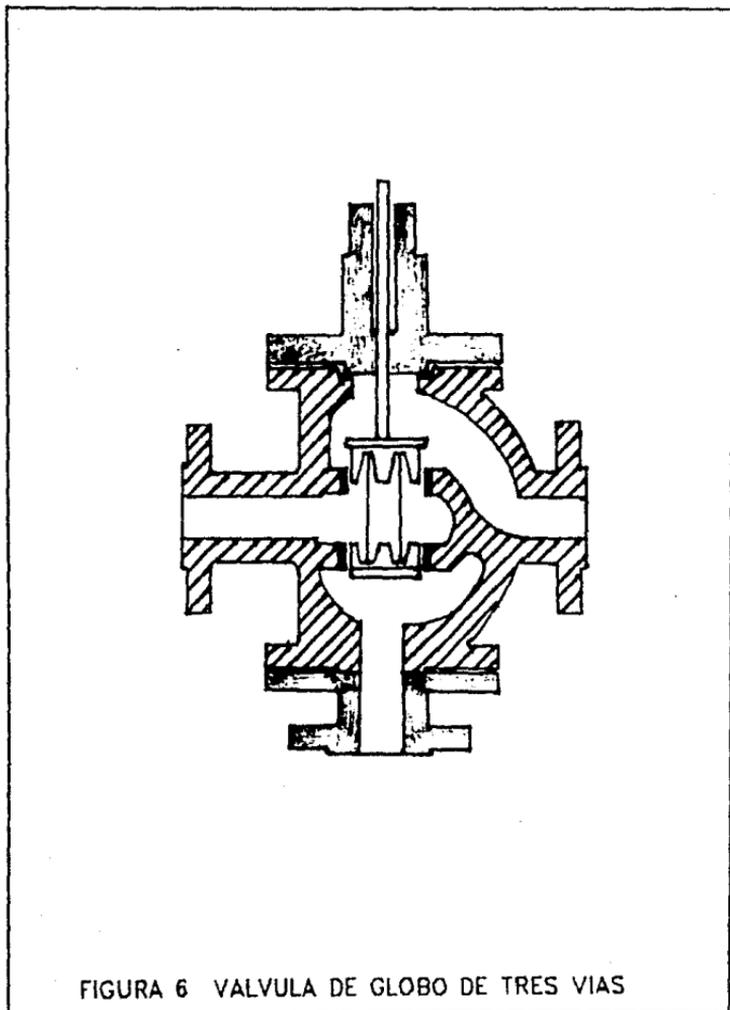


FIGURA 6 VALVULA DE GLOBO DE TRES VIAS

Las válvulas de globo de cara tienen buenas características de control fácilmente modificables cambiando la cara, además de que presentan diseños semibalanceados y son de fácil mantenimiento. Son menos susceptibles a la cavitación. Presentan la desventaja de no tener un cierre hermético (aproximadamente un 0.5% del área de fugas). No cuenta con puertos reversibles.

Las válvulas de globo de ángulo presentan buenas características de control. Tiene un cierre firme, mitiga los problemas de erosión, ahorra espacio eliminando codos de 90° en las tuberías, puede manejar lodos, pastas y cenizas de carbón cuando se presentan problemas de vaporización. Tiene la desventaja de ser disponible solo en diámetros pequeños y normalmente son de alto costo. Presenta un rango limitado de control.

Las válvulas de globo de tres vías son ideales en aplicaciones de mezclado y desvío, pueden reemplazar dos válvulas de dos vías en algunas aplicaciones. Frecuentemente son usadas en sistemas de control de temperatura en cambiadores de calor. Tienen la desventaja de no poder controlar totalmente el flujo, además puede necesitarse puertos de tamaños distintos, los cuales normalmente no son disponibles. Para su instalación se necesita conocer en forma precisa las condiciones de flujo. Normalmente solo se dispone de la característica lineal.

2.3 Valvulas de Mariposa

Este tipo de válvula es probablemente uno de los diseños más antiguos aún en uso. Originalmente fue usada en muchos de los primeros hornos de tiro natural; el regulador de tiro utilizado en las estufas de cocina antiguas es una válvula de mariposa. Esta válvula fue ampliamente aceptada a partir de los años 20's, y es a partir de entonces cuando su diseño original ha experimentado grandes variaciones y mejoras hasta llegar a ser un dispositivo de control confiable, capaz de producir altas caídas de presión y asegurar un firme cierre. Además sus características de autolimpieza y su patrón de flujo lineal son adecuados para servicios de flujo sólido-líquido.

2.3.1 Descripción.

Mecánicamente una válvula de mariposa consiste de un cuerpo, flecha y disco, además de los dispositivos necesarios para empaque y soporte. El cuerpo usualmente es del tipo de anillo sólido, que se monta entre bridas. La flecha es una varilla sólida que soporta al disco.

El espesor del disco depende principalmente de la caída de presión que se manejará. De esta manera los discos delgados se utilizan para obtener caídas de presión menores. Cuando los requerimientos de caída de presión aumentan, el espesor del disco debe aumentar. Este patrón reduce el área de flujo notablemente, aunque se encuentre totalmente abierta.

Otro aspecto que influye en el espesor y en el diseño del disco, son los niveles de torque necesarios para mover el disco cuando este regula el flujo. Este torque depende principalmente de tres factores:

- a) Las fuerzas laterales que actúan sobre los rodamientos de la flecha
- b) El torque dinámico generado por el flujo.
- c) El torque necesario para asentar el disco.

El factor que requiere mayor consideración es el torque dinámico, debido a que el disco, aunque simétrico, acelera el fluido en uno de sus extremos más que en otro, ocasionando que se genere un torque tendiente a cerrar la válvula. Esto ha podido solucionarse en parte con el desarrollo de discos con diseños de bajo torque, lo que permite el uso de aberturas mayores con más altas capacidades y menores torques. La figura 7 muestra una válvula de mariposa.

2.3.2 Ventajas y Limitaciones.

La válvula de mariposa presenta una alta capacidad para un diámetro dado en relación a otro tipo de válvula. Son económicas, especialmente en tamaños grandes, poseen un alto restablecimiento de presión, no permite la formación de sedimentos por lo que es

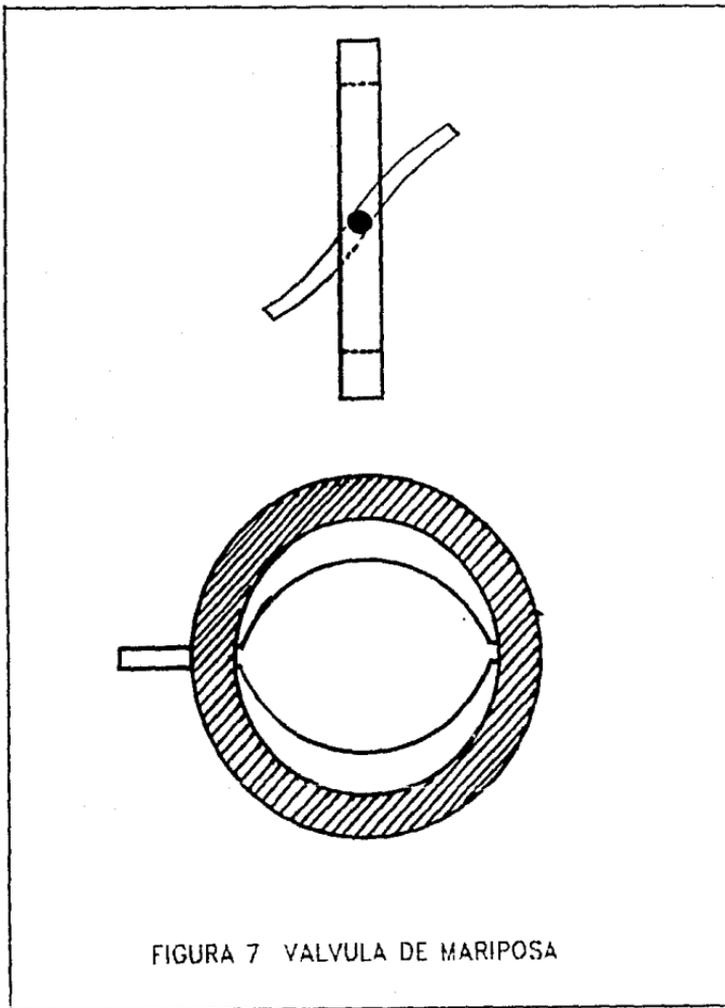


FIGURA 7 VALVULA DE MARIPOSA

aplicable para todos. Requiere de un espacio mínimo para su instalación debido a que el cuerpo es sólo un anillo de metal. Se dispone fácilmente en tamaños grandes y posee pocas partes a las cuales dar mantenimiento. Presenta un amplio rango de control de flujo.

Esta válvula presenta torques altos, haciendo necesario el uso de actuadores grandes si la válvula es grande o la caída de presión es alta (o si no se usan diseños especiales de bajo torque). El cierre firme depende del uso de asientos con características que los limitan por temperatura. La acción regulatoria en algunos diseños está limitada a un viaje de 60 grados.

2.4 Válvula de Bola

Aunque este tipo de válvula no ha estado disponibles desde hace algún tiempo, no fue sino hasta el desarrollo de materiales elásticos resistentes (resilient) usados en su diseño, lo suficientemente fuertes para soportar las severas condiciones de proceso lo que permitió se les tuviera la confianza necesaria. El diseño básico de las válvulas de bola no fue pensado para control debido a que el flujo crítico en estas válvulas se presenta cuando la caída de presión alcanza el 15% de la presión de entrada contra el 50% normal en otros diseños lo que origina problemas de inestabilidad, como cavitación, vaporización o ruido, en condiciones que en otro tipo de válvulas no ocurrirían, por lo que su uso se circunscribe a servicios de bloqueo. Este tipo de problemas se han resuelto mediante el uso de bolas de diseño especial, con perfiles especiales. Estas bolas se conocen con el nombre de bola caracterizada.

2.4.1 Descripción.

En 1962 fueron introducidas las válvulas de bola caracterizada, como una solución a los problemas de atascamiento en la industria del papel, desde entonces ha encontrado aceptación en otras aplicaciones de control, debido a las buenas especificaciones que presenta. En esencia son iguales a

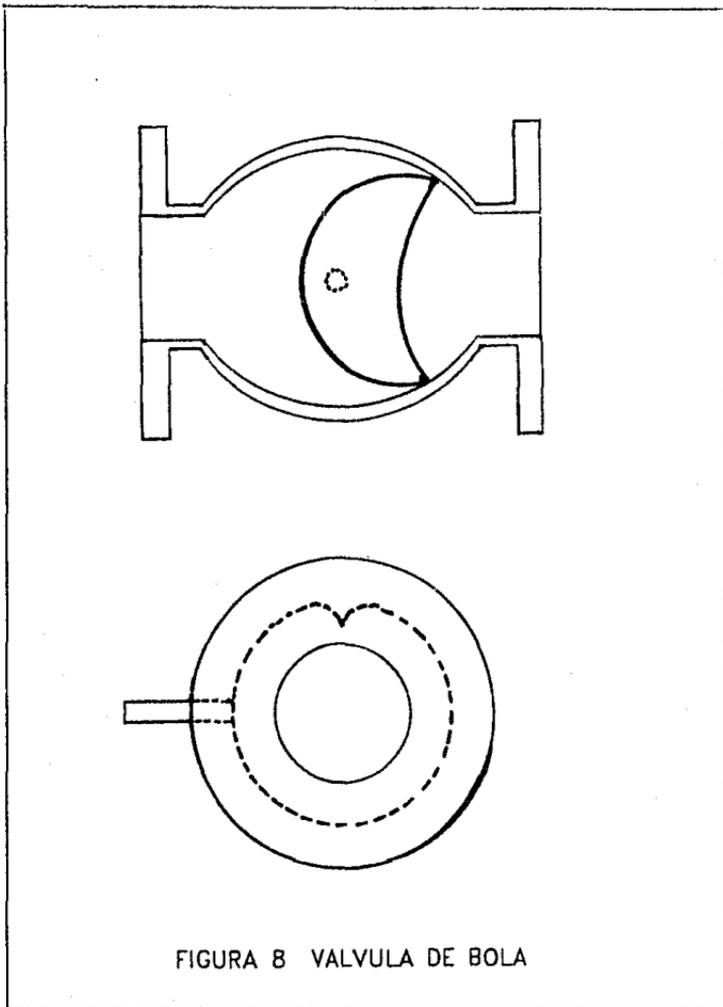


FIGURA 8 VALVULA DE BOLA

las válvulas de bola, con la diferencia de tener la bola modificada de acuerdo al perfil necesario para obtener la característica deseada. Las válvulas de bola caracterizada consisten de cuerpo, flecha de soporte, bola caracterizada, empaques y rodamientos necesarios.

El cuerpo es diseñado para ser instalado entre bridas no es adecuado para instalaciones de alta presión, Los anillos de sello normalmente se mantienen en su lugar debido a la acción de las bridas, pero algunas veces este anillo resulta dañado por los tornillos de éstas o por compresión excesiva. Gran parte del torque necesario para operar la válvula es debido a la fricción de los empaques sobre las flechas, por lo que éstas deben ser diseñadas para que soporten los esfuerzos que la bola les transmite debido a cargas de operación.

La bola caracterizada es diseñada de acuerdo a la característica deseada y actualmente se disponen de bolas con perfil parabólico.

2.4.2 Ventajas y Limitaciones

Las ventajas de la válvula de control de bola caracterizada son una alta capacidad, amplio rango de control de flujo, bajo costo y disponibilidad para manejar fluidos fibrosos, viscosos y lodos.

Su desventaja consiste en que presenta una presión limitada de operación. No es recomendable para servicios de alta caída de presión; necesita de actuadores potentes y su mantenimiento es difícil, ya que necesita removerse de la tubería.

CAPITULO III

CRITERIOS DE SELECCION

3.1 Generalidades

El capítulo anterior muestra los tipos más comunes de válvulas de control utilizadas. Cualquiera de estas puede funcionar bajo una gran cantidad de condiciones de operación, sin embargo, existen condiciones y aplicaciones en las cuales funcionarán en forma óptima y existen otras en que trabajarán deficientemente, acarreando problemas a la estabilidad del proceso y dañándose a sí mismas. Es por esto que al momento de efectuar una selección deberán tomarse en cuenta diversos factores que pueden definir la selección de alguno de estos tipos. Estos factores son los siguientes:

- a) Capacidad
- b) Rangos de Control de Flujo.
- c) Restablecimiento de presión.
- d) Condiciones de Operación.
- e) Fuga en el asiento de la válvula.

3.2 Capacidad

La capacidad de una válvula está definida por el coeficiente de flujo. Este coeficiente se determina experimentalmente y se define como la cantidad de galones por minuto de agua que pasan a través de la válvula con una caída de presión de una libra por pulgada cuadrada a 60°F; es función de su diseño y del diámetro del puerto de la válvula. Esta capacidad varía mucho de diseño a

diseño. La válvula de mariposa y la válvula de bola caracterizada manejan eficientemente grandes gastos, siendo que una válvula de globo que manejará estos gastos sería muy grande y pesada. Para bajos gastos las válvulas que presentan las mejores características son las de globo.

3.3 Rango de Control de Flujo

Este término reviste gran importancia en la selección de la válvula de control. Se define como la relación entre el flujo máximo y el flujo mínimo controlable, donde la palabra controlable implica que la desviación de la característica de control de flujo no exceda ciertos límites establecidos a partir de la característica inherente de flujo de la válvula. El rango de control de flujo presenta algunos aspectos :

- a) Indica el punto en el que la válvula actuará como un dispositivo abierto-cerrado o pierde el control completamente debido a fugas.
- b) Establece el punto en donde la característica de control de flujo, en la acción de apertura, se desvía de lo esperado.
- c) Una válvula con un amplio rango de control de flujo manejará eficientemente varias condiciones de servicio alejadas entre sí.

El máximo rango de control de flujo de una válvula está limitado por el gasto máximo que la misma puede manejar y el gasto cero. En la realidad este rango es obviamente menor, es decir antes de alcanzar el gasto máximo, el control del flujo ya no se efectúa de acuerdo a la característica de la válvula. Lo mismo sucede cuando comienza a abrir, debido a las fugas en el asiento y al diseño de la válvula. Aunque este rango es difícil de cuantificar, para cuestiones de selección resulta práctico saber solamente que las válvulas de mariposa y de bola caracterizada presentan los más amplios rangos de control de flujo.

3.4 Restablecimiento de Presión

La función principal de una válvula de control es la de producir una caída de presión en la corriente que este regulando. Generalmente se utilizan dos medios para producir esta caída de presión en las válvulas de control. El más común de ellos es producir un cambio en la energía de presión del sistema por energía cinética. La forma en que este intercambio se lleva a cabo se muestra en la figura 9.

En la figura 9 la válvula de control está representada por la restricción instalada en la tubería, cuya presión de entrada P_1 se reduce debido a esta restricción hasta alcanzar el valor mínimo en el punto conocido como vena contracta (P_{vc}). Este punto es también donde se alcanza la mayor velocidad del sistema. Si el valor de presión en la vena contracta fuera menor que la presión de vapor del líquido que se estuviera manejando se presentaría la vaporización instantánea de éste.

De acuerdo al perfil hidráulico del sistema, se observa que la presión se incrementa después de la vena contracta, a la vez que la velocidad se decrementa hasta que alcanza el valor original. Esto no ocurre con la presión, cuyo valor final P_2 será siempre menor que la presión P_1 debido al trabajo necesario para pasar la obstrucción y vencer las fuerzas viscosas o de fricción. La diferencia entre estos valores es la caída de presión buscada y la diferencia entre la presión en la vena contracta y la presión final se conoce como restablecimiento de presión.

Se puede observar en la figura 9, que al producir una caída de presión por este método, es necesario evitar que la presión del sistema llegue a un valor que pueda ser menor que la presión de vapor del líquido y producir una vaporización (el primer paso en la generalización de fenómenos físicos conocidos como cavitación y vaporización.)

Las válvulas de mariposa y bola caracterizada tienen un alto restablecimiento de presión. Esto significa que son más susceptibles a la cavitación, ya que para que a través de ellas se produzca una caída de presión dada, se requiere que la presión en la vena contracta sea menor de la que sería en una válvula de bajo restablecimiento de presión, como lo son las válvulas de globo.

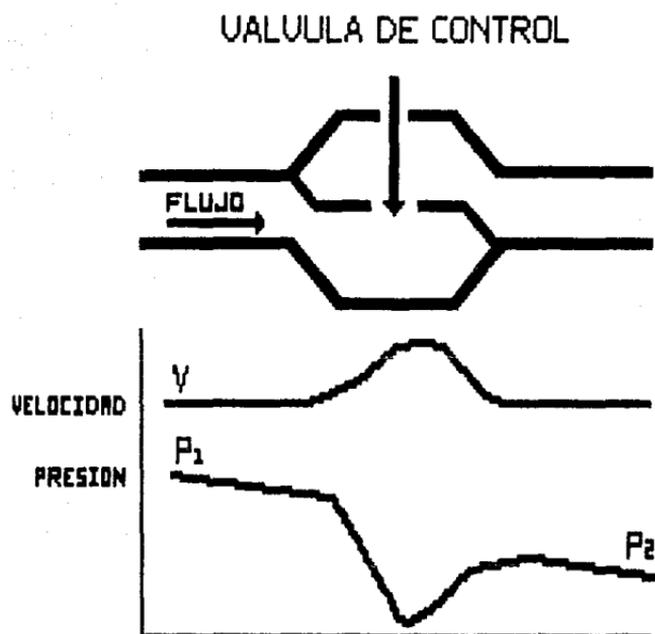


FIGURA. 9 CAMBIO DE ENERGIA DE PRESION
POR ENERGIA CINETICA

VALVULA DE CONTROL

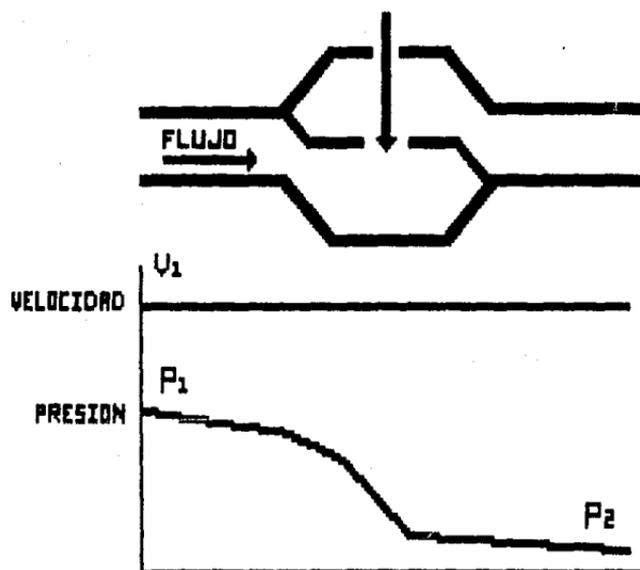


FIGURA 10 DISMINUCION DE LA PRESION POR CONTROL DE LA VELOCIDAD.

Otra forma para producir la caída de presión deseada, se conoce como el control de la velocidad. En este caso, la reducción de la presión se lleva a cabo por medio de cambios en el momento del sistema, variando continuamente la dirección del fluido. El nombre de control de velocidad se debe a que la velocidad del fluido se mantiene a través de la válvula de control, cuyos interiores se diseñan de manera muy similar a los de las válvulas de caja. En este caso la caja presenta canales de flujo que semejan laberintos que son los causantes de los cambios de dirección. Su caída de presión se presenta de acuerdo a la figura 10 en la que se puede observar cómo este tipo de válvulas son poco propensas a sufrir fenómenos de vaporización o cavitación.

3.5 Condiciones de Operación

El desarrollo de nuevos procesos industriales ha traído consigo condiciones de operación que no se habían alcanzado antes. Estas condiciones se refieren a las bajas temperaturas criogénicas altas presiones, servicios corrosivos, erosivos, los cuales tiene que soportar cualquier instrumento, en especial las válvulas de control.

Actualmente no representa mayor problema cubrir estas condiciones, debido a que se han desarrollado una gran variedad de materiales especiales como por ejemplo: acero inoxidable serie 300 y 400, aleaciones endurecidas por precipitación (P.H), monel, hastelloy, stellyte y el titanio; son capaces de soportar las condiciones más severas tanto para el cuerpo como para los interiores.

En lo que se refiere a los empaques y asientos, los avances en el campo de los polímeros permite tener materiales que soporten condiciones que antes representaban serios problemas. Los materiales resistentes y flexibles como el teflón el hypalon, Kel-F el deldrin las soportan satisfactoriamente.

La tabla 1 muestra las características de las válvulas de control.

T A B L A 1 C A R A C T E R I S T I C A S D E L A S V A L V U L A S D E C O N T R O L

TIPO	GLOBO	MARIPOSA	BOLA CARACTERIZADA
DIAMETRO (pg)	1-24	1-150	1-24
*PRESION DE DISEÑO (Kg/cm ²)	hasta 400	hasta 400	hasta 100
TEMPERATURA DE DISEÑO (°C) DESDE:	CRIOGENICAS	CRIOGENICAS	CRIOGENICAS
** HASTA:	650	1000	500

* Esta presión es la máxima a la cual son diseñadas

** Esta temperatura es la máxima a la cual son diseñadas

3.6 Normas para Goteo en Asientos de las Válvulas

3.6.1 Clases de Goteo

El goteo máximo permisible en el asiento, como se especifica para cada clase, no excederá el valor correspondiente en la tabla 2 utilizando el procedimiento de prueba definido en la sección 3.6.2. Para las clases II a la VI, cualquier válvula deberá ser probada.

3.6.1.1 Clase I

Es la modificación de cualquier válvula clase II, III o IV, en donde el diseño es el mismo que la clase básica, pero por acuerdo entre el cliente y el fabricante, no requiere probarse.

3.6.1.2 Clase II

Esta clase establece el goteo máximo permisible, generalmente con válvulas de control comerciales de doble asiento o doble puerto, o válvulas de control de puerto sencillo balanceadas, con un sello de anillo de pistón y asientos metal a metal. Utilizar el procedimiento de prueba tipo A.

3.6.1.3 Clase III

Esta clase establece el goteo máximo permisible generalmente asociado con la clase II, pero con mayor grado de ajuste y de apriete en el sello y en el asiento. Utilizar el procedimiento de prueba tipo A.

3.6.1.4 Clase IV

Esta clase establece el goteo máximo permisible generalmente asociado a válvulas de control desbalanceadas de puerto sencillo, asiento sencillo, balanceadas de puerto sencillo con anillos de pistón extra ajustados a otro medio de sello y asientos metal a metal. Utilizar el procedimiento de prueba tipo A.

3.6.1.5 Clase V

Esta clase está generalmente especificada para aplicaciones críticas donde la válvula de control deba cerrar, sin una válvula de bloqueo, por largos periodos de tiempo con una alta presión diferencial entre las superficies de sello. Requiere de un ensamble de manufactura especial y técnicas de prueba. Esta clase generalmente está asociada con válvulas de control desbalanceadas de asiento sencillo o diseños balanceados de puerto sencillo con asiento y sello excepcionalmente ajustado. Utilizar el procedimiento de prueba tipo B usando agua a la máxima presión diferencial de operación.

3.6.1.6 Clase VI

Esta clase establece el goteo máximo permisible generalmente con las válvulas de control con asiento flexible y resistente, o balanceadas de puerto sencillo con anillos tipo "O", o sello similar sin uniones. Utilizar el procedimiento de prueba de tipo C. La tabla 2 muestra los valores de goteo para cada clase.

3.6.2 Procedimientos de Prueba.

3.6.2.1 Procedimiento de Prueba Tipo A.

El medio de prueba será aire limpio o agua de 10 a 52°C (de 50 a 125°F). La presión del medio de prueba será de 3 a 4 bar (de 45 a 60 lb/pg²) o la máxima presión diferencial de operación la que sea menor.

Los datos del flujo de goteo y de presión deberán ser precisos en un +/- 10% de la lectura.

El fluido de prueba será aplicado a la entrada normal o especificada del cuerpo de la válvula. La salida del cuerpo de la válvula puede estar abierta a la atmósfera o conectada a un dispositivo de medición de baja caída de presión.

El actuador se ajustará para alcanzar las condiciones especificadas de operación. Deberá aplicarse el empuje total normal de cierre utilizando aire a presión, resorte u otro medio. No se hará ningún cambio o ajuste para compensar cualquier incremento en la carga del asiento, obtenida cuando la presión diferencial de prueba sea menor que la máxima presión diferencial de operación de la válvula.

Para arreglos de válvulas hechos para almacenamiento, probadas sin el actuador, se utilizará una prueba de las instalaciones, en la cual se aplicará una carga neta al asiento, que no exceda la carga normal esperada del fabricante bajo las condiciones máximas de servicio.

En pruebas con agua, se tendrá cuidado para eliminar bolsas de aire en el cuerpo de la válvula y en la tubería.

El gasto de goteo obtenido de esta forma puede compararse con los valores calculados para las clases II, III y IV en la tabla 2.

3.6.2.2 Procedimiento de Prueba Tipo B.

El fluido de prueba será agua limpia de 10 a 52°C (de 50 a 125°F).

La presión diferencial de prueba será la máxima presión diferencial de servicio a través de la válvula, sin exceder la presión máxima de operación a la temperatura ambiente determinada por las normas ANSI (American National Standard Institute), o alguna presión menor mediante un acuerdo

individual (7 bar (100 lb/pg²) de caída como mínimo). Ver Apéndice B. La precisión de la medición de la presión estará dentro de un 1% de la lectura.

T A B L A 2 CLASES DE GOTEO PARA VALVULAS DE CONTROL

Clase de Goteo	Goteo Máximo	Procedimiento de Prueba
Clase I	ver párrafo 3.6.1.1	ninguno
Clase II	0.5% de la capacidad	Tipo A
Clase III	0.1% de la capacidad media de la válvula.	Tipo A
Clase IV	0.01% de la capacidad media de la válvula	Tipo A
Clase V	5×10^{-4} cm ³ /min de agua por cada pulgada del diámetro de la válvula por lb/pg ² de presión diferencial. (5×10^{-12} m ³ /s por cada mm del diámetro de la válvula por bar de presión diferencial).	Tipo B
Clase VI	Goteo para lo especificado en el párrafo 3.6.2.3 para la prueba de tipo C, en cm ³ /min contra el diámetro del puerto.	Tipo C

Nota: La capacidad medida de la válvula es al 100% de apertura.

El fluido se aplicará a la entrada normal o especificada del cuerpo de la válvula. La válvula se abrirá y el cuerpo se llenará completamente con agua, incluyendo la porción de la salida y cualquier tubería conectada corriente abajo. Después se cerrará.

Entonces se aplicará la presión diferencial de prueba con agua como se especificó anteriormente, con el actuador ajustado para alcanzar las condiciones de operación especificadas. No se aplicará un empuje neto del actuador, por encima del máximo especificado.

Quando el flujo de goteo se estabilice, se observará la cantidad por un período de tiempo suficiente para obtener una precisión de $\pm 10\%$ de la lectura.

El gasto de goteo obtenido de esta forma no será mayor que el valor calculado de la definición de goteo máximo en el asiento para la clase V mostrada en la tabla 2. Se entiende que el diámetro del orificio es el diámetro en el punto de contacto del asiento con una aproximación de 2 mm (1/16 pg).

3.6.2.3 Procedimiento de Prueba Tipo C Clase VI.

El medio de la prueba será aire o nitrógeno de 10 a 52°C (de 50 a 125°F). La presión del medio de prueba será la máxima presión diferencial medida a través de la válvula o 3.5 bar (50 lb/pg²) la que sea menor. El fluido de prueba se aplicará a la entrada normal o especificada de la válvula y la salida será conectada a un dispositivo adecuado de medición. Con la válvula de control ajustada para alcanzar las condiciones específicas de operación y permitiendo tiempo suficiente para que se estabilice el flujo, el gasto del goteo no excederá los valores de la tabla 3.

T A B L A 3 GOTEO MAXIMO

Diametro Nominal del Puerto

Milímetros	Pulgadas	cm ³ por minuto	burbujas por minuto
25	1	0.15	1
38	1 1/2	0.30	2
51	2	0.45	3
64	2 1/2	0.60	4
76	3	0.90	6
102	4	1.70	11
152	6	4.00	27
203	8	6.75	4

Las burbujas por minuto, tal como se ha tabulado es alternativa sugerida en un dispositivo calibrado de medición adecuado, en este caso un tubo de 1/4 pg (6.3 mm) diámetro exterior por 0.032 pg (0.8 mm) de pared de tubo, sumergido a una profundidad en el agua de 1/8 a 1/4 pg (de 3 a 6 mm). El extremo del tubo será recto y liso sin rebaba ni deformaciones, y el eje del tubo será perpendicular a la superficie del agua. Pueden construirse otros aparatos y el número de burbujas por minuto puede diferir de las mostradas hasta indicar correctamente el flujo en ml por segundo.

Nota : Deberá tenerse precaución para evitar represionamientos en los dispositivos de medición, resultado de una inadvertida apertura de la válvula.

3.7 Costo

Este factor ha de ser considerado después de haber hecho una selección preliminar, cuando dos o más tipos de válvulas satisfagan ampliamente los requerimientos establecidos. La selección recaerá en la opción de menor costo. Este costo debe ser considerado como la suma total de los costos de adquisición, instalación, operación, mantenimiento y reparación.

En términos generales, las válvulas de mariposa son las de menor costo global, mientras que las de globo son las más caras. Los precios varían de un proveedor a otro.

C A P I T U L O I V

DIMENSIONAMIENTO DE VALVULAS

4.1 Dimensionamiento de Válvulas para Líquidos.

Se presenta un procedimiento de siete pasos para el dimensionamiento de válvulas de control para líquido utilizando el nuevo procedimiento de la ISA (Sociedad de Instrumentos de América). Cada uno de estos es importante y debe ser considerado durante cualquier estudio de capacidad. Los pasos 3, 4 y 5 conciernen a la determinación de ciertos factores de dimensionamiento que pueden o no ser requeridos en la ecuación de dimensionamiento, dependiendo de las condiciones de servicio del problema.

- 1) Especificar las variables necesarias para dimensionar la válvula, tal como sigue:
 - a) Diseño deseado. Consultar la tabla apropiada de coeficientes de flujo en el Apéndice A
 - b) Fluido de proceso (agua, aire, aceite, etc.)
 - c) Condiciones de servicio apropiadas (gasto, caída de presión, temperatura, densidad, presión de vapor y viscosidad).

La habilidad para reconocer los valores adecuados de las variables para un procedimiento específico puede adquirirse solamente a través de la experiencia.

- 2) Determinar la constante N de la ecuación apropiada.

N es una constante numérica contenida en cada una de las ecuaciones de flujo para permitir utilizar diferentes sistemas de unidades. Los valores de estas constantes y las unidades aplicables se proporcionan en la tabla 4.

3) Determinar F_p , el factor geométrico de tubería

F_p es un factor de corrección que toma en cuenta las caídas de presión debidas a conexiones tales como reducciones, codos o tees, que pudieran estar conectados directamente a la entrada y a la salida de la válvula de control a dimensionar. Si tales conexiones están instaladas en la válvula, se deberá considerar el factor F_p en el procedimiento. Sin embargo, si ninguna conexión se instala a la válvula, el valor de F_p es 1.0 y simplemente cae fuera de la ecuación. Utilizar el procedimiento descrito en la sec. 4.1.1 para calcular F_p .

4) Determinar F_Y , el factor de flujo crítico del líquido, y Δ_{PT} , la caída de presión permisible.

F_Y es un factor de corrección que toma en cuenta la posibilidad de condiciones de flujo crítico dentro de la válvula de control. Si es posible que se presenten estas condiciones se determinará el factor F_Y de acuerdo al procedimiento descrito en 4.1.3. Los resultados finales serán los mismos que si se utilizara un factor Δ_{PT} . Si se puede reconocer que las condiciones de flujo crítico no se desarrollarán dentro de la válvula, Δ_{PT} no necesita calcularse.

5) Determinar F_R , el Factor del Número de Reynolds.

F_R es un factor de corrección que toma en cuenta las condiciones de flujo laminar dentro de la válvula de control. Tales condiciones pueden presentarse debido a la alta viscosidad de un fluido, muy baja presión diferencial, gasto muy bajo o alguna combinación de estos. Si se sospecha que el flujo laminar se presentará, determinar el factor F_R de acuerdo al procedimiento de la sección 4.1.4. Para la mayoría de las aplicaciones de

dimensionamiento de válvulas, el flujo laminar no se presentará.

T A B L A 4 C O N S T A N T E S D E L A S E C U A C I O N E S

	N	w	q	P	ρ	ν	T	d,D
N ₁	20.762	-	m ³ /d	kg/cm ² abs	-	-	-	-
	34.286	-	bl/d	lb/pg ² abs	-	-	-	-
	1.00	-	gpm	lb/pg ² abs	-	-	-	-
N ₂	0.00214	-	-	-	-	-	-	mm
	890	-	-	-	-	-	-	pg
N ₄	52.778	-	m ³ /d	-	-	cs	-	mm
	504.583	-	bl/d	-	-	cs	-	pg
	17300.0	-	gpm	-	-	cs	-	pg
N ₅	0.000241	-	-	-	-	-	-	mm
	1.00	-	-	-	-	-	-	pg
N ₆	27.3	kg/h	-	kg/cm ² abs	kg/m ³	-	-	-
	63.3	lb/h	-	lb/pg ² abs	lb/pt ³	-	-	-
N ₇	32840	-	m ³ /d	kg/cm ² abs	-	-	K	-
	60048	-	pt ³ /d	lb/pg ² abs	-	-	°R	-
N ₈	94.8	kg/h	-	kg/cm ² abs	-	-	K	-
	19.3	lb/h	-	lb/pg ² abs	-	-	°R	-
N ₉	3225600	-	m ³ /d	kg/cm ² abs	-	-	K	-
	10540800	-	pt ³ /d	lb/pg ² abs	-	-	°R	-
N ₁₀	865	kg/h	-	kg/cm ² abs	-	-	-	-
	500	lb/h	-	lb/pg ² abs	-	-	-	-

Si se sabe que las condiciones de flujo laminar no se presentarán dentro de la válvula, F_R tiene un valor igual a 1.0 y simplemente cae fuera de la ecuación.

6) Calcular el C_V requerido con la ecuación apropiada.

Además del coeficiente de flujo C_V , otro coeficiente de flujo K_V tiene amplio uso, particularmente fuera de norteamérica. Calcular si es necesario.

7) Seleccionar el diámetro de válvula utilizando la tabla apropiada de coeficientes de flujo y el valor calculado de C_V .

4.1.1 Determinación del Factor Geométrico, F_p .

Determinar el factor F_p si cualquier conexión, como reducciones, codos o tes, estarán conectados directamente a la entrada o salida de la válvula de control. Cuando sea posible, se recomienda que este factor sea determinado experimentalmente, utilizando la válvula especificada en pruebas reales.

Calcular el factor F_p utilizando la siguiente ecuación:

$$F_p = \left[1 + \frac{\Sigma K}{N_2} \left(\frac{C_V}{d^2} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad \text{Ecu. 1}$$

donde:

N_2 = constante numérica encontrada en la Tabla 4

d = diámetro nominal supuesto de la válvula

C_V = coeficiente de la válvula dimensionada al 100% de apertura para el diámetro supuesto de la misma.

En la ecuación anterior, el término ΣK , es la suma algebraica de los coeficientes de caída de presión por velocidad de todos los

accesorios conectados a la válvula de control.

$$\Sigma K = K_1 + K_2 + K_{B1} - K_{B2} \quad \text{Cec.2}$$

donde:

K_1 = coeficiente de resistencia de las conexiones corriente arriba, adimensional.

K_2 = coeficiente de resistencia de las conexiones corriente abajo, adimensional.

K_{B1} = coeficiente de Bernoulli en la entrada, adimensional.

K_{B2} = coeficiente de Bernoulli en la salida, adimensional.

Los coeficientes de Bernoulli, K_{B1} y K_{B2} , son utilizados sólo cuando el diámetro de la tubería que llega a la válvula es distinto del diámetro de la tubería que se aleja de la válvula, por lo que:

$$K_{B1} \text{ o } K_{B2} = 1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \quad \text{Cec.3}$$

donde:

d = diámetro nominal de la válvula, pg.

D = diámetro interior de la tubería, pg.

Si la tubería a la entrada y a la salida es del mismo diámetro, entonces los coeficientes de Bernoulli también son iguales, $K_{B1} = K_{B2}$ y por lo tanto caen fuera de la ecuación respectiva.

La conexión utilizada más común en las instalaciones de válvula de control es el reductor concéntrico corto. Las ecuaciones

para estos accesorios son:

Para un reductor en la entrada.

$$K_1 = 0.5 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \quad \text{Cec. 4}$$

Para un reductor en la salida.

$$K_2 = 1.0 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \quad \text{Cec. 5}$$

Para una válvula instalada entre dos reductores idénticos.

$$K_1 + K_2 = 1.5 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \quad \text{Cec. 6}$$

Para válvulas instaladas con tees, utilizar las siguientes ecuaciones:

Para flujo directo (dos corrientes que convergen en la te):

$$K = 20 f \quad \text{Cec. 7}$$

Para flujo desviado (una corriente que se divide en dos):

$$K = 60 f \quad \text{Cec. 8}$$

donde:

K = coeficiente de flujo K_1 o K_2 , según se localice la te.

f = factor de fricción de la tubería, según la Tabla 5.

T A B L A 5 FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERIAS (TURBULENCIA TOTAL)

DIAMETRO NOMINAL (PG)	FACTOR DE FRICCIÓN
1/2	0.027
3/4	0.025
1	0.023
1 1/4	0.022
1 1/2	0.021
2	0.019
2 1/2	0.018
3	0.018
4	0.017
5	0.016
6	0.015
8	0.014
10	0.014
12	0.013
16	0.013
18	0.012
24	0.012

4.1.2 Determinación del Factor de Flujo Crítico de Líquido, F_v .
 o Caída de Presión Permisible Δ_{PT} .

Determinar el factor F_v o el Δ_{PT} si es posible que se desarrolle flujo crítico dentro de la válvula de control. Los valores de F_v pueden determinarse utilizando uno o dos de los métodos alternativos presentados en la sección 4.1.2.1. Los valores Δ_{PT} pueden determinarse utilizando el método presentado en

la sección 4.1.2.2. Si el método F_v , es seleccionado, Δ_{PT} no necesita calcularse; de igual forma, si el método Δ_{PT} es seleccionado, F_v deberá borrarse de la ecuación de dimensionamiento.

4.1.2.1 Determinación de F_v , el factor de flujo crítico de Líquido.

Los valores de F_v , pueden determinarse por medio de cualquiera de los dos métodos siguientes:

1) Los valores F_v pueden obtenerse utilizando las siguientes ecuaciones:

$$F_v = K_m \left[\frac{P_1 - F_F P_v}{P_1 - P_2} \right] \quad \text{donde } F_v \leq 1 \quad \text{Cec. 9}$$

$$F_v = \frac{F_{LP}}{F_P} \left[\frac{P_1 - F_F P_v}{P_1 - P_2} \right] \quad \text{donde } F_v \leq 1 \quad \text{Cec. 10}$$

donde:

- F_F = cociente de presión crítica del líquido, adim.
- K_m = factor de restablecimiento de presión la válvula, adim.
- P_1 = presión estática corriente arriba, lb/pg²abs.
- P_2 = presión estática corriente abajo, lb/pg²abs.
- P_v = presión de vapor absoluta a la temperatura de entrada, lb/pg² abs.
- F_{LP} = factor combinado de restablecimiento de presión y geometría de la tubería, adim.
- F_P = factor geométrico de la tubería, adim.

Nota 4.1.2.1

En las ecuaciones anteriores, los valores de F_p , el factor de cociente de presión crítica del líquido, pueden obtenerse de la figura 11 para agua y de la figura 12 para todos los demás líquidos.

Los valores de K_m , el factor de restablecimiento de presión para válvulas instaladas sin accesorios, pueden encontrarse en las tablas de coeficientes de flujo. Si la válvula se va a instalar con accesorios, como reductores u otros, K_m deberá reemplazarse en la ecuación por el cociente F_{LP}/F_p , y aplicar la ecuación 10:

$$F_{LP} = \left[\frac{K_i}{N_2} \left(\frac{C_v}{d^2} \right)^2 + \frac{1}{K_m^2} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad \text{Cec. 11}$$

y

$$K_i = K_1 + K_{B1} \quad \text{Cec. 12}$$

donde:

K_1 = coeficiente de los accesorios corriente arriba.

K_{B1} = coeficiente de Bernoulli en la entrada.

(Para calculos de estos coeficientes ver sec. 4.1.1)

Nótese que las ecuaciones para calcular F_y están limitadas a un valor igual a 1.0. Un valor calculado de F_y mayor o igual a uno, es simplemente una indicación de que el flujo crítico no se presentará bajo las condiciones dadas de servicio. Para cualquier valor calculado mayor que 1.0, o para condiciones de servicio en donde se sabe que el flujo crítico no se presentará, el factor F_y se supone igual a 1.0.

2) Alternativamente, los valores de F_y también pueden obtenerse gráficamente de la figura 13 donde está graficado F_y contra el

COCIENTES DE PRESION CRITICA PARA AGUA

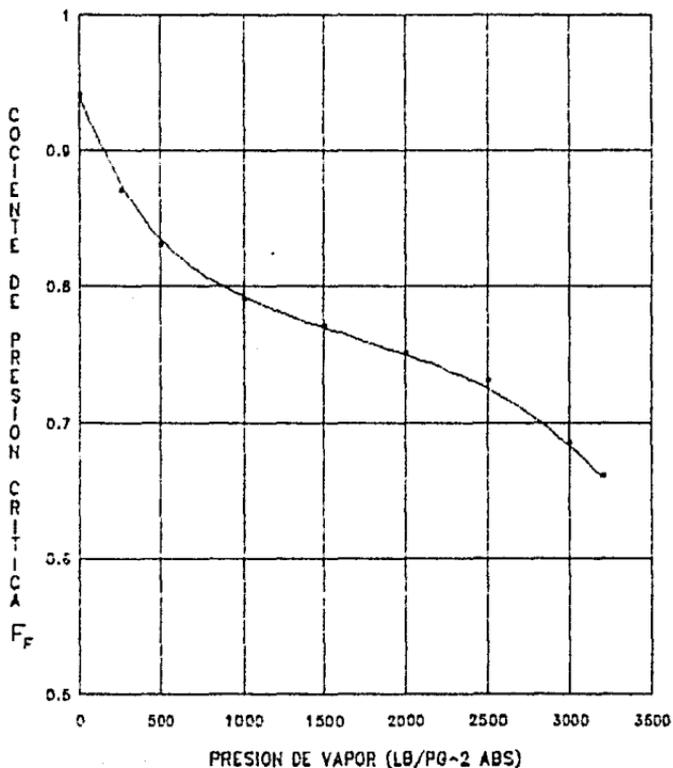


FIGURA 11

COCIENTE DE PRESION CRITICA PARA FLUIDOS
DISTINTOS AL AGUA

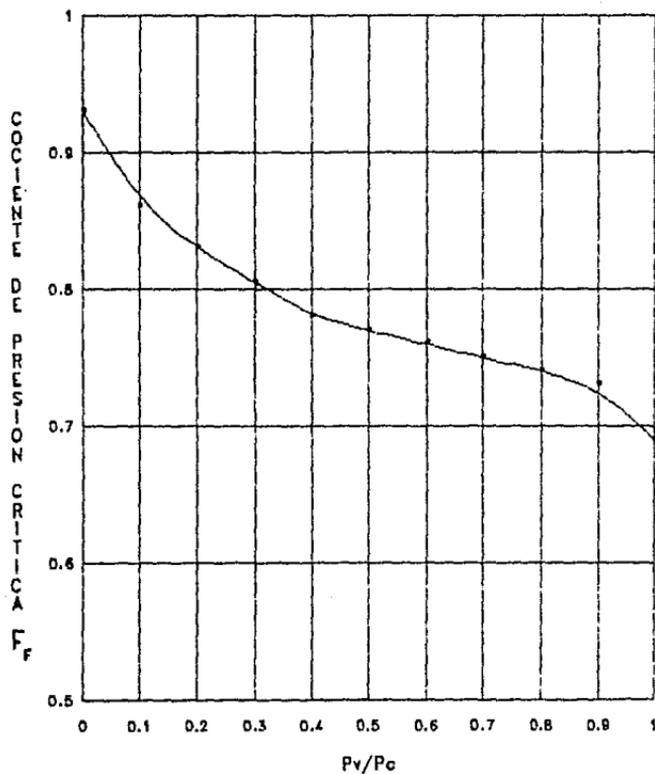


FIGURA 12

cociente de presión:

$$\frac{P_1 - P_2}{(P_1 - F_F P_V)} \quad \text{Cec. 11}$$

ver nota 4.1.2.1

4.1.2.2 Determinación de Δ_{PT} , la Caída de Presión Permisible.

Δ_{PT} , la caída de presión permisible, puede determinarse de las siguientes relaciones:

Para válvulas instaladas sin accesorios-

$$\Delta_{PT} = K_m^2 (P_1 - F_F P_V) \quad \text{Cec. 14}$$

Para válvulas instaladas con accesorios-

$$\Delta_{PT} = \left[\frac{F_{LP}}{F_P} \right]^2 (P_1 - F_F P_V) \quad \text{Cec. 15}$$

ver nota 4.1.2.1.

Los valores de K_m , el factor de válvulas instaladas sin accesorios, puede encontrarse en las tablas de coeficiente de flujo. Para el calculo de F_{LP} consulte la sección 4.1.2.1.

Una vez que el valor de Δ_{PT} se ha obtenido de la ecuación apropiada, deberá compararse con la presión diferencial real de servicio (esto es $\Delta_P = P_1 - P_2$). Si Δ_{PT} es menor que Δ_P , esta es una indicación de que las condiciones de flujo crítico existirán bajo las condiciones especificadas de servicio. Si las condiciones de flujo crítico existen (esto es Δ_{PT} es menor que $P_1 - P_2$), entonces el paso 6 del procedimiento de dimensionamiento de válvulas para

FACTOR DE FLUJO CRITICO F_y

0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 FACTOR DE RESTITUCION DE PRESION K_m , O F_{LP}/F_F

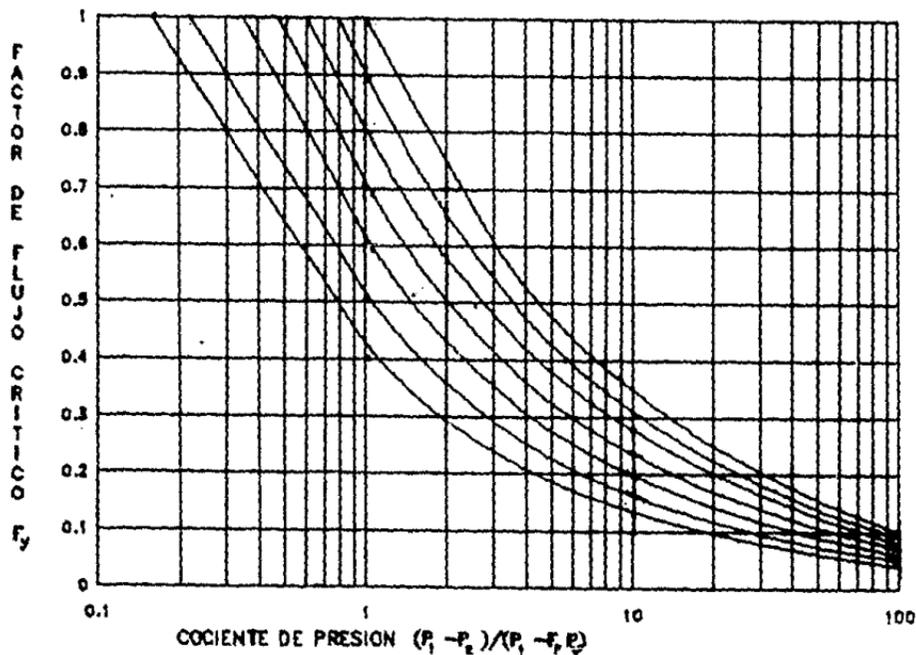


FIGURA 13

líquidos deberá modificarse reemplazando la presión diferencial de servicio ($P_1 - P_2$), en la ecuación de dimensionamiento apropiada, colocando el valor de Δ_{PT} calculado. Una vez que el valor se ha reemplazado, el factor F_v deberá borrarse de la ecuación.

Nota : Una vez que se sabe que las condiciones de flujo crítico se presentarán dentro de la válvula diseñada especificada (esto es, que F_v sea mayor que 1.0, o que el valor de Δ_{PT} sea menor que Δ_p), puede hacerse una distinción posterior para determinar si el flujo crítico es causado por cavitación o vaporización. Las condiciones de flujo crítico son causadas por vaporización si la presión de salida de la válvula dada es menor que la presión de vapor del líquido regulado. Las condiciones de flujo crítico son causadas por la cavitación, si la presión de salida de la válvula es mayor que la presión de vapor del líquido regulado.

4.1.3 Determinación del Factor del Número de Reynolds, F_R .

Determinar el factor F_R , si la condición de flujo laminar puede desarrollarse dentro de la válvula de control a diseñar. Tales condiciones pueden presentarse debido a una alta viscosidad del fluido, muy baja presión diferencial, bajo gasto, o alguna combinación de estos.

Para la mayoría de los casos, las condiciones de viscosidad serán tales que el factor del número de Reynolds no será necesario; sin embargo, si se requiere del factor F_R , puede determinarse a través del siguiente procedimiento.

1. Calcular un pseudocoefficiente de dimensionamiento, C_{cv} , utilizando la siguiente ecuación:

$$C_{cv} = \frac{q}{N_1 \left[\frac{P_1 - P_2}{f_r} \right]^{0.5}}$$

Cec.16

2. Calcular Re_v , el número de Reynolds, con la ecuación:

$$Re_v = \frac{N_4 F_d q}{\nu F_{LP}^{1/2} C_v^{1/2}} \left[\frac{1}{N_2} \left(\frac{F_{LP} C_v}{D^4} \right) + 1 \right]^{1/4} \quad \text{ec. 17}$$

donde:

q = gasto de líquido.

N_1, N_4 = constantes numéricas determinadas de la Tabla 2.

$C_v = C_{vc}$, pseudocoefficiente de dimensionamiento.

F_d = modificador de tipo de válvula.

γ_f = densidad del líquido.

D = diámetro interior de la tubería.

ν = viscosidad cinemática del líquido.

En la ecuación 17, F_d es el modificador de tipo de válvula, un factor que depende del tipo de válvula utilizada. Para válvulas que emplean dos patrones de flujo paralelos, como las válvulas tipo globo de doble puerto, válvulas de mariposa o tipo 9500, utilizar $F_d = 0.7$. Para cualquier otro tipo de válvula, utilizar $F_d = 1.0$.

F_{LP} en la ecuación 15 es un factor de restablecimiento de presión que tomará en cuenta cualquier accesorio colocado a la válvula que se va a instalar. Para su cálculo consultar la sección 4.1.2. Si la válvula es instalada sin reductores u otros accesorios, reemplazar F_{LP} escribiendo K_m en la ecuación 17. Los valores de K_m pueden encontrarse en las tablas del Apéndice A de coeficientes de flujo.

3. Una vez que Re_v es conocido, obtener F_R de la curva para dimensionar válvulas, graficada en la figura 14.

4.1.4 Cálculo del Coeficiente C_v .

Para unidades de flujo volumétrico utilizar la siguiente

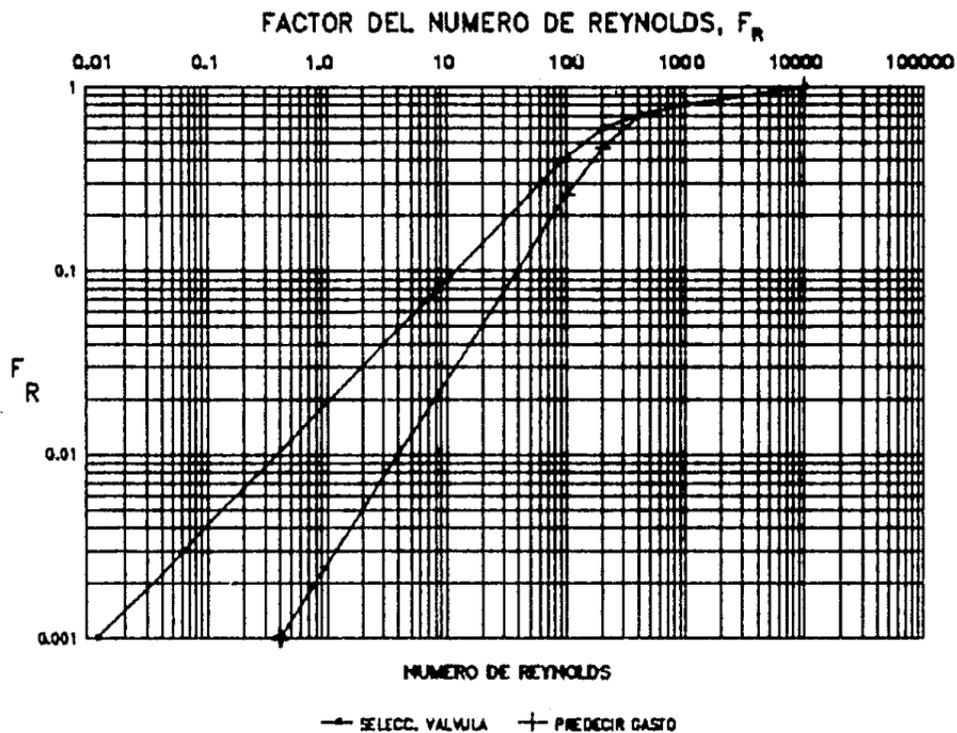


FIGURA 14

ecuación:

$$C_v = \frac{q}{N_1 F_P F_Y F_R \left[\frac{P_1 - P_2}{\gamma_f} \right]^{0.5}} \quad \text{Cec.18}$$

Para unidades de flujo másico utilizar la siguiente ecuación:

$$C_v = \frac{w}{N_{10} F_P F_Y F_R \left[(P_1 - P_2) \gamma_f \right]^{0.5}} \quad \text{Cec.19}$$

Si se requiere del cálculo del coeficiente K_v , utilizar la siguiente relación.

$$K_v = (0.885)(C_v) \quad \text{Cec.20}$$

donde:

K_v = coeficiente de flujo para tablas que no sean americanas.

4.2 Dimensionamiento para Gases.

A continuación se presenta un procedimiento de seis pasos utilizando el procedimiento estandarizado de la ISA. (Sociedad de Instrumentos de América). Cada uno de estos pasos es importante y debe considerarse durante cualquier procedimiento de dimensionamiento de válvulas. Los pasos 3 y 4 conciernen a la determinación de ciertos factores que pueden o no requerirse en la ecuación de diseño, dependiendo de las condiciones de servicio del problema.

1. Especificar las variables necesarias para dimensionar la válvula, como sigue:

- a) Diseño de válvula deseada. Consultar el Apéndice A
- b) Fluido de proceso (aire, gas natural, vapor, etc.)
- c) Condiciones de operación:

q = gasto volumétrico (o gasto másico w)

P_1 = presión estática absoluta en la entrada

P_2 = presión estática absoluta a la salida

ΔP = caída de presión a través de la válvula

T_1 = temperatura absoluta corriente arriba

γ_g = densidad relativa del gas

M = peso molecular

k = cociente de calores específicos

δ = peso específico del gas a las condiciones de entrada

z = factor de compresibilidad a condiciones medias.

La habilidad para reconocer los valores apropiados de las variables para un procedimiento específico, puede adquirirse sólo a través de la experiencia.

2. Determinar la constante de la ecuación, N .

N es una constante numérica contenida en cada una de las ecuaciones de flujo para proporcionar un medio de utilizar diferentes sistemas de unidades. Los valores para estas constantes y sus unidades aplicables están dados en la Tabla 2.

Utilizar N_7 o N_9 si tiene unidades de flujo volumétrico ($\text{pie}^3/\text{día}$, $\text{m}^3/\text{día}$). N_7 puede utilizarse sólo si se especifica la densidad relativa del gas junto con las demás condiciones requeridas. N_9 puede utilizarse sólo si se proporciona el peso molecular, M del gas.

Utilizar N_8 o N_6 si tiene unidades de flujo másico (lb/hora) (kg/hora). N_8 puede utilizarse sólo si se proporciona el peso específico, γ , del gas, junto con las otras condiciones requeridas. N_6 puede utilizarse sólo si se ha especificado M , el peso molecular.

3. Determinar F_p , el factor geométrico de la tubería.

F_p es un factor de corrección que toma en cuenta cualquier caída de presión debida a accesorios de tubería, como reductores codos o tes, que pudieran colocarse directamente a la entrada o a la salida de la válvula de control. Si tales accesorios están conectados a la válvula, el factor F_p deberá considerarse en el procedimiento de dimensionamiento. Sin embargo, si tales accesorios no están colocados, F_p tiene el valor de 1.0 y simplemente cae fuera de la ecuación. Calcular el factor F_p , con el procedimiento descrito en la sección 4.1.1.

4. Determinar Y , el factor de expansión. Sección 4.2.1.

5. Calcular el coeficiente C_v , utilizando la ecuación apropiada. Sección 4.2.3.

6. Seleccionar el diámetro de la válvula, con la tabla apropiada, utilizando el C_v calculado.

4.2.1 Determinación del Factor de Expansión Y .

Utilizar la siguiente ecuación:

$$Y = 1 - \frac{x}{3 F_k x_T} \quad \text{Cec. 21}$$

donde:

$$x_T = \left[\frac{C_g}{40 C_v} \right]^2 \quad \text{Cec. 22}$$

donde:

$F_k = k/1.4$, factor del cociente de calores específicos.

- C_g = coeficiente de flujo para gas para el diámetro supuesto de la válvula. Ver Apéndice A.
 k = cociente de calores específicos.
 x = $\Delta P/P_1$, el cociente de caída de presión.
 x_T = factor del cociente de caída de presión para válvulas instaladas sin accesorios. x_T es el cociente de caída de presión de flujo crítico o máximo a través de la válvula cuando $F_k = 1.0$

Si la válvula de control va a ser instalada con accesorios, como reductores o codos, entonces sus efectos son tomados en cuenta en la ecuación del factor de expansión al reemplazar el término x_T y colocando el nuevo factor x_{TP} . El procedimiento para determinar este factor se describe en la sección 4.2.2.

NOTA : Las condiciones de caída de presión crítica se alcanzan cuando el valor de x iguala o excede los valores de $F_k x_T$ o $F_k x_{TP}$, en donde :

$$Y = 1 - \frac{x}{3 F_k x_T} = 1 - 1/3 = 0.667$$

Al operar las válvulas, los cocientes de caída de presión pueden, y frecuentemente lo harán, exceder los valores críticos indicados. Deberá tenerse en mente que éste es el punto en el cual se desarrollan las condiciones de flujo crítico. De esta forma para una P_1 constante, un decremento en P_2 (es decir, un incremento de ΔP) no provocará un incremento en el gasto a través de la válvula. Los valores de x , por lo tanto, mayores que el producto de $F_k x_T$ o $F_k x_{TP}$ no deberán sustituirse en la ecuación para calcular Y . Esto significa que Y nunca podrá ser menor que 0.667. Esta misma limitación de los valores de x también se aplica a las ecuaciones de flujo que se introducirán en la siguiente sección.

4.2.2. Determinación de x_{TP} , el Factor del Coeficiente de Caída Presión.

Si la válvula de control a instalar llevará conectados accesorios, como reductores o codos, entonces su efecto es tomado en cuenta en la ecuación del factor de expansión al reemplazar x_T y colocar el nuevo factor x_{TP} :

$$x_{TP} = \frac{x_T}{F_p^2} \left[1 + \frac{x_T K_i}{N_B} \left(\frac{C_v}{d^2} \right)^2 \right]^{-1} \quad \text{Eec. 23}$$

donde:

N_B = constante numérica encontrada en la Tabla 4.

d = diámetro nominal de válvula supuesta.

C_v = coeficiente de dimensionamiento de la válvula, de tablas, al 100% de apertura para el diámetro supuesto.

F_p = factor geométrico de la tubería.

x_T = cociente de caída de presión para válvulas instaladas sin accesorios. Los valores de x_T se pueden calcular con la ecuación 20.

En la ecuación anterior, K_i es el coeficiente de pérdida de presión el cual se define como:

$$K_i = K_f + K_{B1} \quad \text{Eec. 24}$$

donde:

K_f = coeficiente de resistencia de los accesorios corriente arriba (para su determinación ver 4.1.1).

K_{B1} = coeficiente de Bernoulli en la entrada (para su determinación ver 4.1.1).

4.2.3 Cálculo del Coeficiente C_v

Para unidades de flujo volumétrico utilizar las siguientes ecuaciones:

Si se tiene la densidad relativa del gas, γ_g :

$$C_v = \frac{q}{N_g F_p P_i Y \sqrt{\frac{x}{\gamma_g T_i Z}}} \quad \text{Ecu. 25}$$

Si se tiene el peso molecular, M:

$$C_v = \frac{q}{N_g F_p P_i Y \sqrt{\frac{x}{M T_i Z}}} \quad \text{Ecu. 26}$$

Para unidades de flujo másico, utilizar las siguientes ecuaciones:

Si se tiene el peso específico, δ :

$$C_v = \frac{w}{N_g F_p P_i Y \sqrt{x P_i \delta}} \quad \text{Ecu. 27}$$

Si se tiene el peso molecular del gas, M:

$$C_v = \frac{w}{N_g F_p P_i Y \sqrt{\frac{x M}{T_i Z}}} \quad \text{Ecu. 28}$$

Además del coeficiente C_v , otro coeficiente de flujo, K_v , es de amplio uso, particularmente fuera de Norteamérica. Se relacionan entre sí mediante expresión 18.

Una vez que se ha obtenido el coeficiente C_v , pueden hacerse consideraciones para la predicción del ruido aerodinámico. Para determinar el coeficiente de flujo para gas C_g , consultar el Apéndice A.

4.3 Dimensionamiento para Dos Fases.

Se requiere de una consideración especial cuando se dimensiona una válvula de control para manejar mezclas de líquido y gas. La ecuación para calcular el coeficiente de flujo C_{vr} es:

$$C_{vr} = (C_{vl} + C_{vg})(1 + F_m) \quad \text{Ecu. 29}$$

donde:

- C_{vr} = coeficiente C_v requerido para la mezcla.
- C_{vl} = coeficiente C_v para líquido.
- C_{vg} = Coeficiente C_v para gas.
- F_m = factor de corrección.

El valor del factor de corrección, F_m , se proporciona en la figura 19 como una función del cociente de volumen de gas V_r . Este cociente se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V_r = \frac{Q_g}{\frac{284 Q_L P_1}{T_1} + Q_g} \quad \text{Ecu. 30}$$

FACTOR DE CORRECCION F_m

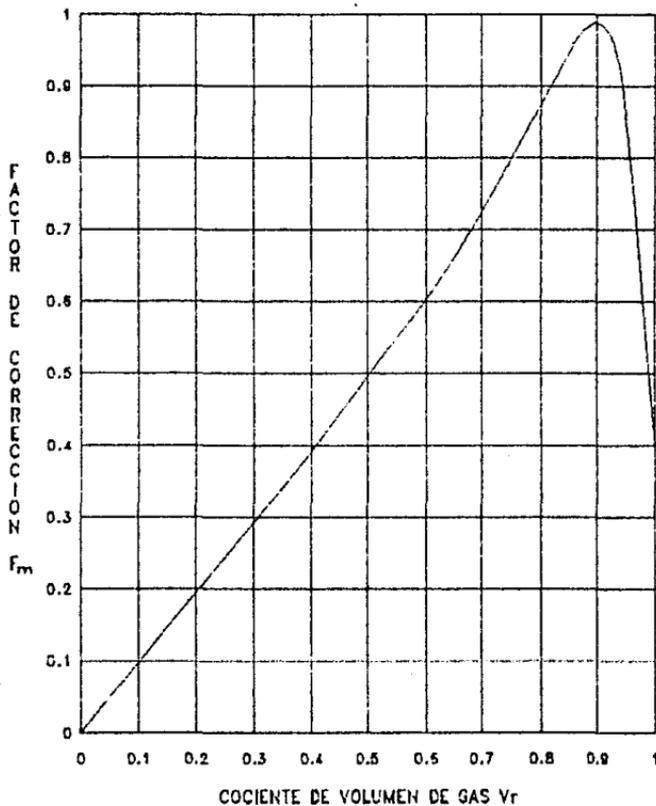


FIGURA 15

COCIENTE DE PRESION EN EL CUAL SE
PRESENTARA EL FLUJO CRITICO DE GAS

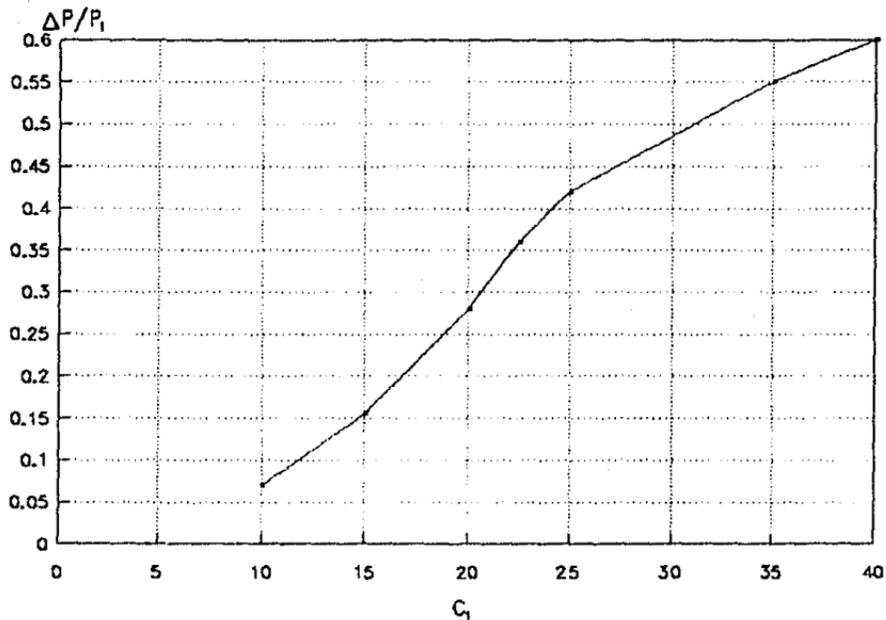


FIGURA 15-A

donde:

V_r = cociente del volumen de gas.

Q_g = gasto de gas.

Q_L = gasto de líquido.

Se tiene que verificar también que la caída de presión no provoque flujo crítico en el gas. Esto se hace con la Figura 15-A entrando con el valor de C_1 , que se obtiene en la tabla de la válvula seleccionada. La figura proporciona un valor de Δ_p/P_1 que debe ser mayor que la Δ_p/P_1 real para no tener flujo crítico. En caso contrario el valor de Δ_p/P_1 de la Figura 15-A deberá sustituirse por el valor de Δ_p/P_1 real y obtener la nueva caída de presión.

El coeficiente C_{v1} se calcula directamente de las tablas de coeficientes. Sin embargo el C_{vg} se calcula con la siguiente ecuación.

$$C_{vg} = \frac{(C_g \text{ calculado}) (C_v \text{ al } 100\% \text{ de apertura})}{C_g \text{ al } 100\% \text{ de apertura}} \quad \text{Cec. 31}$$

FLUJO CRÍTICO Y PREDICCIÓN DEL RUIDO

5.1 Estado del Fluido.

El estado del fluido se define simplemente como la condición de flujo de un fluido que se está regulando. Para propósitos de esta tesis, el estado del fluido será como subcrítico y crítico.

Para un claro entendimiento del flujo, es importante comprender el significado del restablecimiento de la presión en una válvula de control. La figura 16 muestra una ilustración del gradiente de presión a través de una válvula de control durante un proceso de regulación. Conforme un fluido pasa a través del orificio de la válvula, hay un marcado incremento en la velocidad. Este incremento en la velocidad está acompañado por un decremento proporcional en la presión. La velocidad alcanza su punto máximo y la presión su mínimo en la sección transversal de flujo de menor área, corriente abajo del orificio. Esta área de sección transversal mínima se conoce como vena contracta.

Corriente abajo de la vena contracta, el líquido pierde velocidad y consecuentemente la presión se incrementa o se "restablece". Las válvulas de bola y de mariposa, tienden a exhibir un cambio marcado en la velocidad y la presión corriente abajo del orificio, y consecuentemente un alto grado de restablecimiento de presión. Por otro lado, las válvulas de globo ofrecen un menor grado de restablecimiento de presión.

Para el caso de los líquidos, cuando la presión en la vena contracta alcanza la presión de vapor se presenta el flujo crítico. En este punto, cualquier decremento en la presión corriente abajo, P_2 , no tendrá ningún efecto en el gasto. Aquí la

VALVULA DE CONTROL

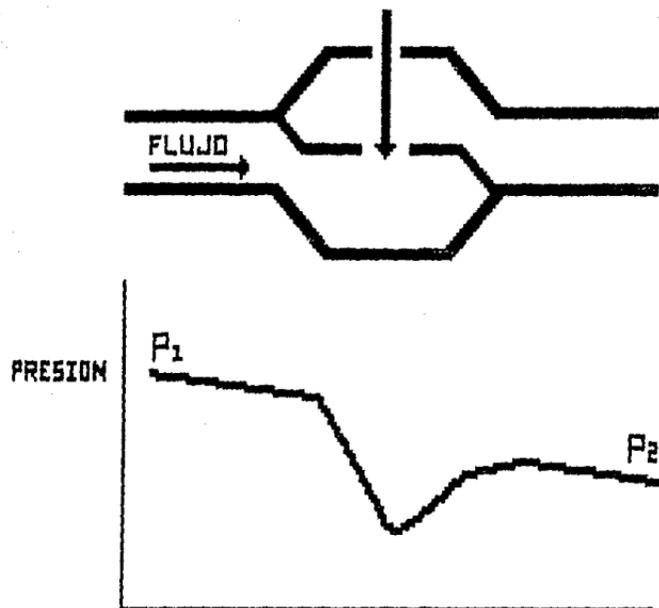


FIGURA 16 GRADIENTE DE PRESION A TRAVES DE UNA VALVULA DE CONTROL

caída de presión real es $P_1 - P_v$, por lo que la presión en la vena contracta no caerá por debajo de la presión de vapor. Se pueden presentar reducciones por debajo de la presión de vapor, pero sólo debido a que el proceso de regulación no alcance el equilibrio termodinámico.

Para el caso de los gases, el límite del flujo se presenta al alcanzar la velocidad sónica en la vena contracta. En este punto, el flujo másico es completamente independiente de la caída de presión y de la presión de salida, y sólo un cambio en la presión de entrada afectará el gasto. Una mayor presión en la entrada incrementará la densidad (no la velocidad) en la vena contracta, aumentando el gasto másico.

5.1.1 Vaporización.

La vaporización (flashing) es el fenómeno que se presenta cuando la presión del líquido cae por debajo de la presión de vapor. Esto provoca que se formen burbujas en el flujo. Si la presión corriente abajo permanece igual o es menor que la presión de vapor, estas burbujas permanecerán en la corriente del flujo. La figura 17 ilustra el gradiente de presión del fenómeno de vaporización a través de una válvula.

Cuando la vaporización se presenta en una válvula, se debe considerar el daño físico potencial a esta. El vapor formado se acelera por el proceso de expansión y alcanza velocidades extremadamente altas. Este vapor a alta velocidad acarrea consigo gotas de líquido. Es el impacto de estas gotas de líquido sobre las superficies de la válvula de control lo que puede provocar daño. Para ello se recomiendan cuerpos de acero inoxidable o acero cromolibdeno. La caja (trim) no se ve afectada por la erosión provocada por la vaporización, debido a que los materiales que se usan en su construcción son, por diseño, de acero de alta aleación, frecuentemente recubierto o endurecido.

5.1.2 Cavitación.

La cavitación es un fenómeno que presenta dos etapas. La primera es la formación de burbujas en la corriente de líquido,

VALVULA DE CONTROL

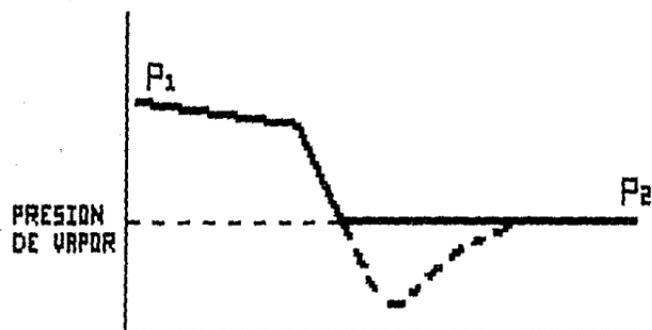


FIGURA 17 FENOMENO DE VAPORIZACION

como resultado de que la presión absoluta en la vena contracta cae por debajo de la presión de vapor. En otras palabras, el líquido se evapora. Este fenómeno se ilustra en la figura 18.

La segunda etapa es la implosión o colapso de estas burbujas, corriente abajo, cuando la presión se incrementa a un punto arriba de la presión de vapor de fluido. Cuando las burbujas se colapsan en o cerca de una superficie sólida, se libera una cantidad substancial de energía sobre un área pequeña, produciendo daño físico y ruido. El daño en un corto periodo de tiempo, puede ser extensivo y eventualmente, impide que la válvula de control realice su función. Las superficies dañadas presentarán una apariencia opaca, rugosa y con agujeros. El ruido que acompaña a la cavitación es similar al de "grava" que pasa por la válvula.

Después de que la cavitación ha comenzado, un decremento posterior en la presión de salida (esto es, un incremento en la ΔP) provocará un incremento en la vaporización y por lo tanto en la intensidad de la cavitación, hasta un punto en el cual ya no habrá incremento en el gasto.

Afortunadamente, para la industria petrolera, el 98% de las aplicaciones en las cuales se presenta la cavitación es en el manejo de agua. Muchos investigadores creen que las mezclas rara vez provocan cavitación. Por ejemplo, las mezclas de hidrocarburos tienen una presión de vapor muy baja y vaporizarán sobre un rango relativamente amplio a cualquier presión dada. Se cree que esto provoca un efecto aparente de amortiguamiento, que protege al cuerpo de la válvula y a la caja del daño por cavitación. Esta teoría es apoyada por el hecho de que la inyección de aire en la corriente arriba de la vena contracta de una válvula que controla agua, ayuda a prevenir el daño por cavitación. También se cree que la alta tensión superficial asociada con agua, propicia el daño potencial debido a los grandes esfuerzos relacionados con la implosión. Otros fluidos con alto potencial de daño son las soluciones base agua, hidrocarburos poco emulsionados, y los fluidos más puros.

Aunque ningún material es capaz de resistir indefinidamente los efectos de la cavitación, se cuenta con aleaciones como el Stellite y el acero inoxidable 316, que proporcionan buenos resultados en estas aplicaciones.

VALVULA DE CONTROL

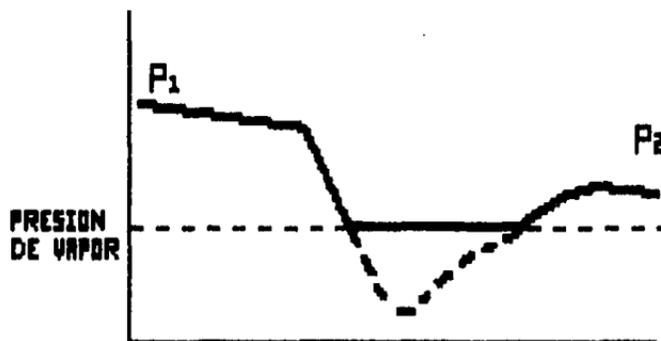
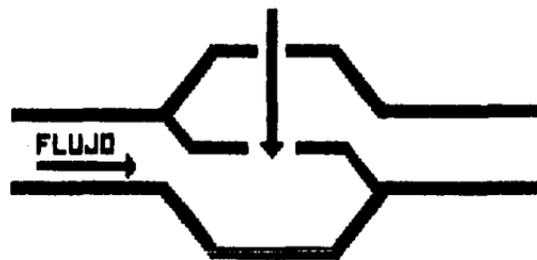


FIGURA 1B FENOMENO DE CAVITACION

5.1.2.1 Control de la Cavitación.

La primera alternativa para controlar el daño por cavitación es prevenir que se presente el fenómeno. La eliminación de la cavitación reduce dramáticamente el potencial de daño, el ruido y la vibración, mediante la utilización de un diseño adecuado. Otra posibilidad consiste en incrementar la presión corriente arriba y/o la presión corriente abajo, de tal forma que la presión en la vena contracta no caiga por debajo de la presión de vapor. Esto puede lograrse algunas veces sin alterar el proceso, cambiando la localización física de la válvula.

Una tercera alternativa es el uso de placas de contrapresión. Esto es más comúnmente utilizado en aplicaciones abierto/cerrado o en donde la variación esperada del flujo es pequeña. Una restricción colocada corriente abajo de la válvula, reducirá la caída de presión hasta un punto en el cual la cavitación desaparece. Al dimensionar la placa, el flujo a través de ella puede ser crítico o subcrítico. Si es crítico, la cavitación se puede presentar corriente abajo de la placa. El diseño de placas de contrapresión con orificios concéntricos ayudará a prevenir el daño por cavitación corriente abajo. La mayor desventaja de las placas de contrapresión es que son elementos de capacidad fija. Una placa diseñada para un conjunto específico de condiciones de servicio no funcionará adecuadamente si se presenta un cambio substancial en estas. Su uso en aplicaciones de regulación es impráctico. A bajos gastos la placa producirá una alta caída de presión a través de la válvula, restableciendo el potencial de la cavitación.

Otra alternativa es el uso de válvulas en serie. Esto distribuye la caída de presión en las válvulas, haciendo que sea menor, en cada una de ellas, evitando que la presión en la vena contracta llegue a la presión de vapor.

5.2 Criterios de Ruido.

El nivel permisible de ruido para una instalación particular, está dictada generalmente por el comprador. El nivel del sonido se mide normalmente en decibel en un punto localizado a tres pie (1 metro) corriente abajo de la válvula y a tres pie (1 metro) de la superficie de la tubería. En la mayoría de los casos los límites de nivel de sonido son los establecidos por la OSHA (Occupational Safety and Health Act), que se ilustran en la tabla 6.

T A B L A 6 TIEMPO DE EXPOSICIÓN AL SONIDO

Tiempo de exposición (hora)	Nivel de sonido (decibel)
16	85
8	90
4	95
2	100
1/2	110
1/4	115

El requerimiento más frecuente es 90 dba (decibel) en un periodo de ocho horas. Ocasionalmente se requiere de niveles de sonido correspondientes al rompimiento de una banda octava. Utilizar la información de la tabla 7 para determinar los niveles de presión de sonido de banda octava. Este sonido depende del espectro de absorción del sistema de tuberías y del diámetro. Utilizar la siguiente ecuación para calcular el nivel de sonido, en decibel, para una banda de octava dada, para cualquier válvula.

$$SPL = SPL_{\text{válv.}} + \text{corrección} \quad \text{Cec. 32}$$

TABLA 7 NIVELES DE PRESION DE SONIDO DE BANDA OCTAVA

		PARA CAJA WHISPER TRIM III								PARA TODAS LAS DEMAS							
		VELOCIDAD DE SALIDA 0.3 MACH															
D	C&D ÚLTA	BANDAS OCTAVAS, Hz															
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	68 to 303	...	...	...	...	...	...	...	...	-50	-50	-50	-38	-27	-15	-8	-3
1-1/2	68 to 303	...	...	...	...	...	...	...	...	-50	-50	-50	-38	-27	-15	-8	-3
2	68 to 303	...	...	...	...	...	...	...	...	-50	-50	-50	-38	-27	-15	-3	-6
3	68 to 303	...	...	...	...	...	...	...	...	-50	-50	-50	-38	-27	-15	-3	-6
4	68 to 303	...	...	...	-46	-33	-21	-9	-6	-50	-50	-50	-38	-27	-15	-3	-6
6	68 to 303	-80	-60	-46	-33	-21	-9	-6	-3	-50	-50	-38	-27	-15	-3	-6	-9
8	68 to 180	-80	-60	-46	-33	-21	-9	-6	-3	-50	-50	-29	-27	-15	-3	-6	-9
10	68 to 180	-80	-60	-46	-33	-21	-9	-6	-3	-50	-50	-29	-27	-15	-3	-6	-9
12	68 to 180	-80	-60	-33	-21	-9	-6	-6	-3	-50	-38	-27	-18	-3	-6	-9	-21
14	68 to 180	-80	-60	-33	-21	-9	-6	-6	-3	-50	-38	-27	-15	-3	-6	-9	-21
16	68 to 180	-80	-60	-33	-21	-9	-6	-6	-3	-50	-38	-27	-15	-3	-6	-9	-21
18	68 to 180	-80	-60	-33	-21	-9	-6	-6	-3	-50	-38	-27	-15	-3	-6	-9	-21
20	68 to 180	-80	-60	-33	-21	-9	-6	-6	-3	-50	-38	-27	-15	-3	-6	-9	-21
24	68 to 180	-46	-33	-21	-9	-6	-6	-3	-3	-38	-27	-15	-3	-6	-9	-21	-33
	120 to 180	-50	-33	-21	-9	-6	-6	-3	-3	-50	-38	-27	-15	-3	-6	-9	-21
30	68 to 30	-46	-33	-21	-9	-6	-6	-3	-3	-15	-38	-27	-15	-3	-6	-9	-21
36	10 to 40	-46	-33	-21	-9	-6	-6	-3	-3	-15	-38	-27	-15	-3	-6	-9	-21
42	10 to 30	-46	-33	-21	-9	-6	-6	-3	-3	-15	-38	-27	-15	-3	-6	-9	-21

donde:

SPL = Nivel de presión de sonido, en la banda correspondiente, dBA.

$SPL_{v\acute{a}lv.}$ = Nivel de presión de sonido total de la válvula, dBA.

Con esta ecuación se puede construir el espectro de sonido para cualquier válvula y combinación de tubería.

5.3 Ruido Hidrodinámico.

La causa principal del ruido hidrodinámico es la cavitación. El siguiente procedimiento es útil para determinar el nivel de presión de sonido generado por un líquido fluyendo a través de una válvula de control. La información requerida es:

- Tipo de válvula y tipo de caja.
- Diámetro y cédula de la tubería adyacente.
- Presión de entrada, P_1 y caída de presión, Δ_p .
- Presión de vapor del líquido.
- C_v requerido calculado.

Determinar el nivel de ruido sustituyendo los valores apropiados de las figuras 19 a la 21 y de la tabla 8 en la siguiente ecuación:

$$SPL = SPL_{\Delta_p} + \Delta SPL_{C_v} + \Delta SPL_{\Delta_p} \sqrt{(P_1 - P_v)} + \Delta SPL_{kh} \quad \text{(ec. 33)}$$

donde:

SPL = Nivel de ruido, en decibel (dBA) a un metro corriente abajo de la válvula y a un metro de la tubería.

SPL_{Δ_p} = Nivel total base de ruido, en función de la caída de presión, decibel.

SPL ΔP vs ΔP PARA TODO TIPO DE VALVULAS (RUIDO HIDRODINAMICO)

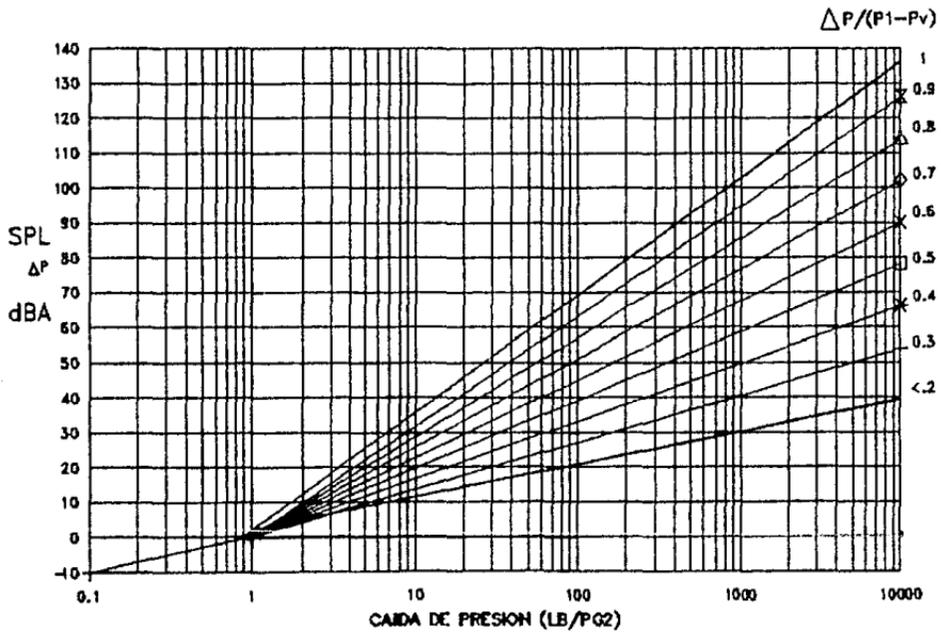


FIGURA 19

Δ SPLcv vs Cv PARA TODO TIPO
DE VALVULAS

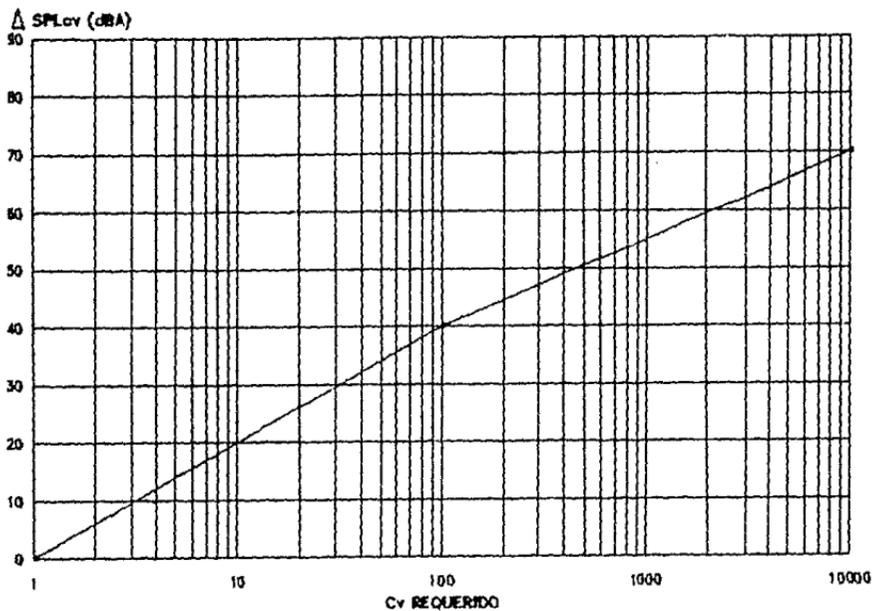
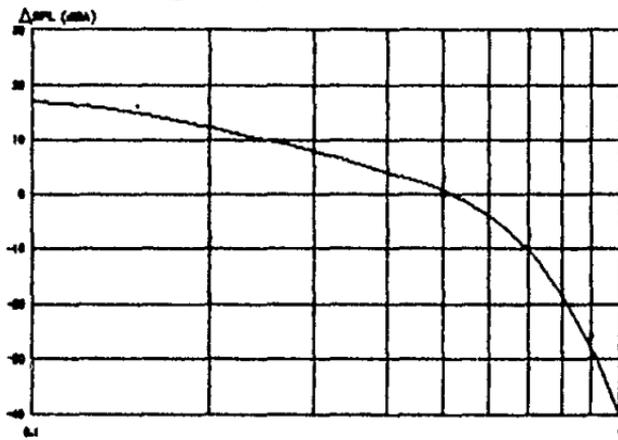


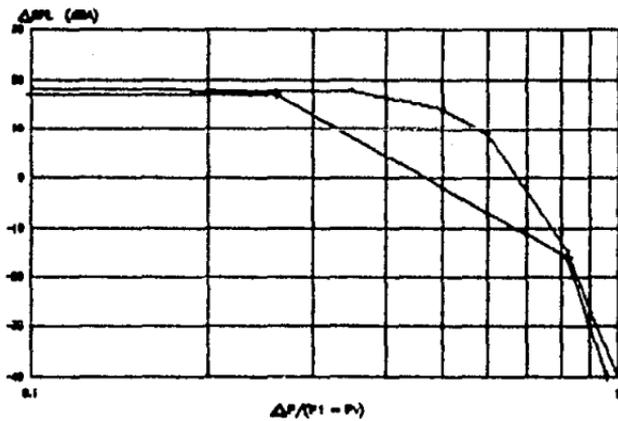
FIGURA 20

ΔSPL
 $\Delta P/(P_1 - P_2)$ PARA VALVULAS DISEÑO A



$\Delta P/(P_1 - P_2)$
 FIGURA 21-A

$\Delta SPL_{20/(P_1 - P_2)}$ PARA VALVULAS DISEÑO DBAQ



$\Delta P/(P_1 - P_2)$
 — VALVULAS DE DISEÑO + VALVULAS DE DISEÑO

FIGURA 21-B

SPL $P/(P_1 - P_2)$ PARA VALVULAS DISEÑO EA

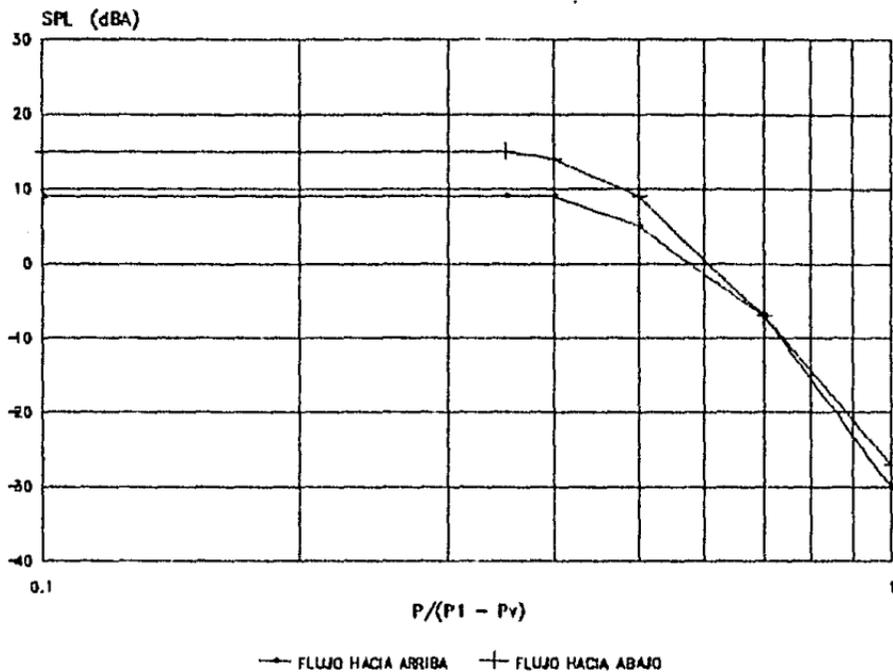


FIGURA 21-C

SPL $P/(P_1 - P_2)$ PARA VALVULAS DISEÑO
E, EH, EW

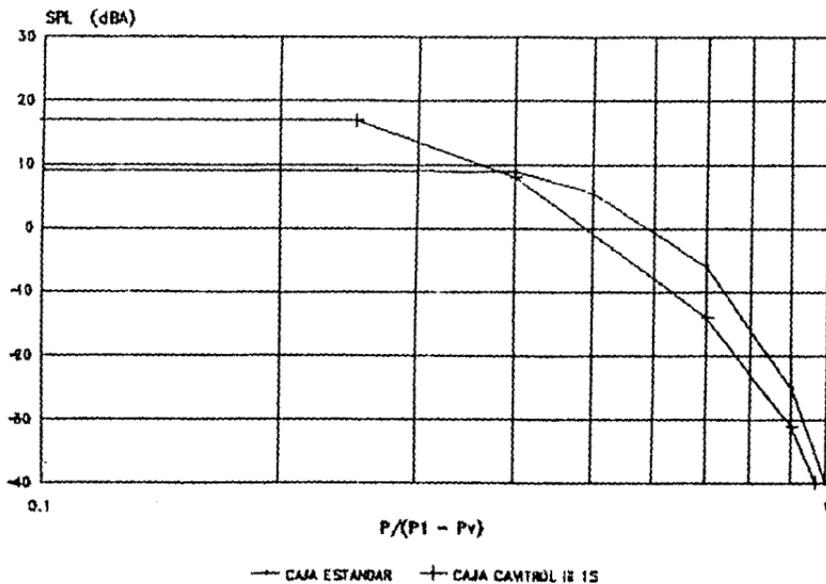


FIGURA 21-D

$\Delta SPL_{\Delta P/(P_1 - P_2)}$ PARA VALVULAS DISEÑO U
y V100 ($d/D = 1$)

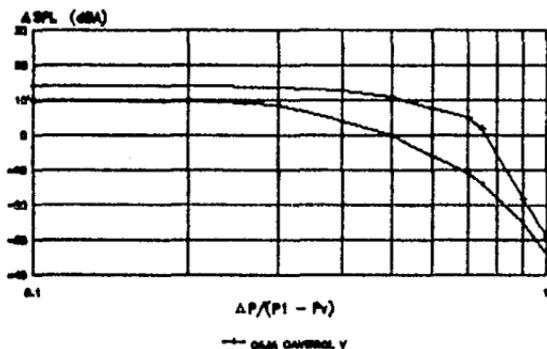


FIGURA 21-E

$\Delta SPL_{\Delta P/(P_1 - P_2)}$ PARA VALVULAS DISEÑO U
y V100 ($d/D > 1$)

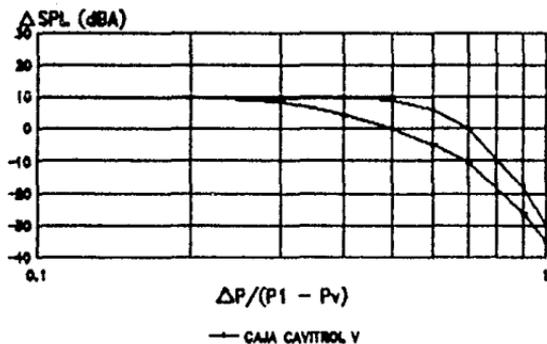
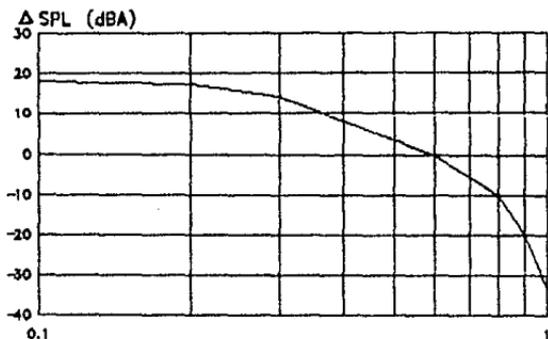


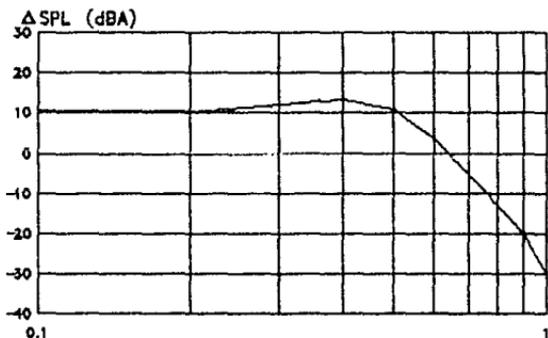
FIGURA 21-F

$\Delta SPL_{\Delta P/(P_1 - P_v)}$ PARA VALVULAS DISEÑO
V25 y V250 ($d/D < 1$)



$\Delta P/(P_1 - P_v)$
FIGURA 21-G

$\Delta SPL_{P/(P_1 - P_v)}$ PARA VALVULAS DE MARIPOSA
y δ disc ($d/D = 0.5$)



$\Delta P/(P_1 - P_v)$
FIGURA 21-H

TABLA 8 RUIDO HIDRODINAMICO ΔSPL_K

D	C R D U L A													
	10	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	STD	XS	XXS
1	...	...	...	0	...	-4.5	...	...	...	...	-9.5	0	-4.5	-15.5
1-1/2	...	...	...	0	...	-4.5	...	...	...	...	-9.5	0	-4.5	-15.5
2	...	...	...	0	...	-5	...	...	...	...	-11.5	0	-5	-15.5
3	...	...	...	0	...	-4.5	...	...	...	...	-10	0	-4.5	-15
4	...	...	...	0	...	-5	...	...	-8.5	...	-11.5	0	-5	-15
6	...	...	...	0	...	-6	...	-9.5	...	...	-13	0	-6	-16
8	...	+3.5	+2.0	0	-3	-6	-6.5	-11	-13	-14.5	0	0	-6	-14
10	...	+5.0	+2.5	0	-4.5	-6.5	-9.5	-11.5	-14	-15.5	0	0	-4.5	...
12	...	+6.5	+1.5	-1	-5.5	-6	-11	-13.5	-15	-17.5	0	0	-4	...
14	+6.5	+2.5	0	-2	-6	-9.5	-12.5	-14.5	-16.5	-18.0	0	0	-4	...
16	+6.5	+2.5	0	-4	-7.5	-11	-13.5	-16	-18.5	-20	0	0	-4	...
18	+6.5	+2.5	-2	-5.5	-9.5	-12.5	-15.5	-17.5	-19.5	-21.5	0	0	-4	...
20	+6.5	0	-4	-6	-10.5	-13.5	-16.5	-19.0	-21.0	-22.5	0	0	-4	...
24	+6.5	0	-6.5	-6	-12.5	-16	-19	-21.5	-23	-25	0	0	-4	...
30	+2.5	-4	-7	...	...	...	...	...	...	...	0	0	-4	...
36	+2.5	-4	-7	-9	...	...	...	...	...	...	0	0	-4	...
42	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0	0	-4	...

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

ΔSLP_{C_v} = Corrección por C_v requerido, decibel

$\Delta SLP_{\Delta P / (P_1 - P_2)}$ = Corrección alcanzada a través del uso de tubería de pared gruesa y aislamiento térmico o acústico, decibel.

ΔSLP_{k_h} = Corrección por tipo de válvula y cociente de caída de presión, decibel.

5.4 Ruido Aerodinámico.

El siguiente procedimiento puede utilizarse para determinar el nivel de presión de sonido, generado por el ruido aerodinámico en las válvulas de control. La información requerida es la siguiente:

- Tipo de válvula y estilo de caja.
- Diámetro y cédula de la tubería adyacente.
- Presión de entrada, caída de presión y presión de salida.
- Coeficiente C_g , calculado.

Determinar el nivel de presión de sonido para una caja y tubería estándar, sin considerar revestimiento acústico u otro medio de atenuar el ruido. Si la predicción resulta por encima de los 110 dBA, aplicar alguna técnica de atenuamiento, pues el ruido puede provocar daño por vibración severa a la válvula de control, actuador, instrumentación y tubería corriente abajo.

Para determinar el nivel de presión de sonido, se sustituyen los valores apropiados de las figuras 22 a la 26 y de la tabla 9 en la siguiente ecuación:

$$SLP = SLP_{\Delta P} + \Delta SLP_{C_g} + \Delta SLP_{\Delta P / P_1} + \Delta SLP_{k_a} + \Delta SLP_{P_2} \quad (\text{ec. 34})$$

ΔSPL_{Cv} vs ΔP PARA TODO TIPO DE VALVULAS

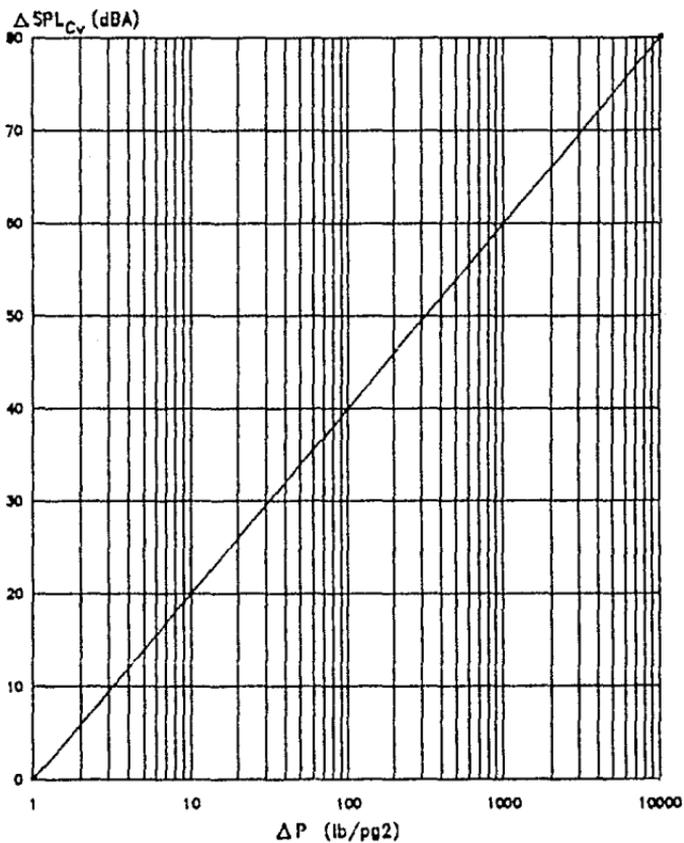


FIGURA 22

SPL_{Cg} vs C_g PARA VALVULAS DE GLOBO
CON CAJA ESTANDAR O WHISPER TRIM 1

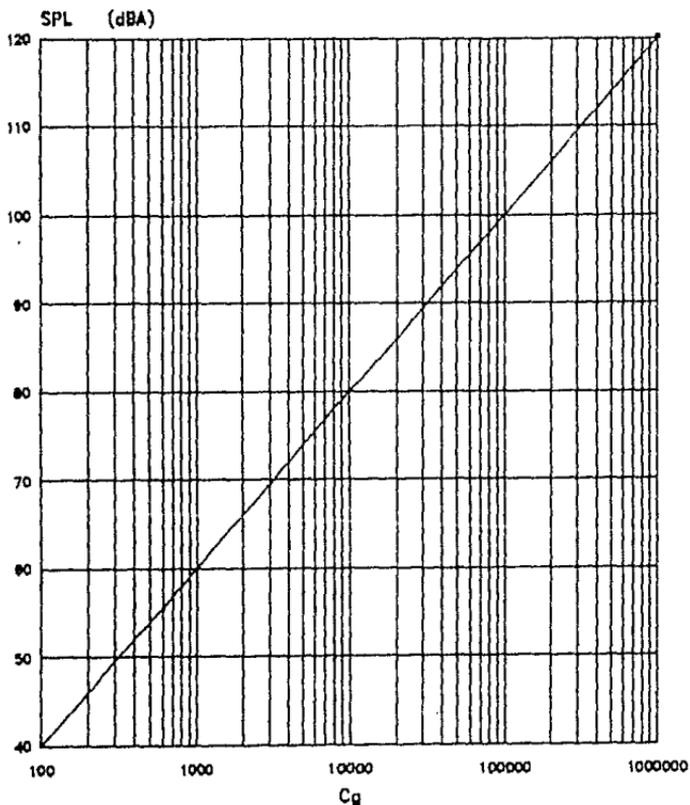


FIGURA 23

SPL_{Cg} vs Cg PARA VALVULAS DE GLOBO CON
CAJA WHISPER TRIM III o CON DIFUSOR

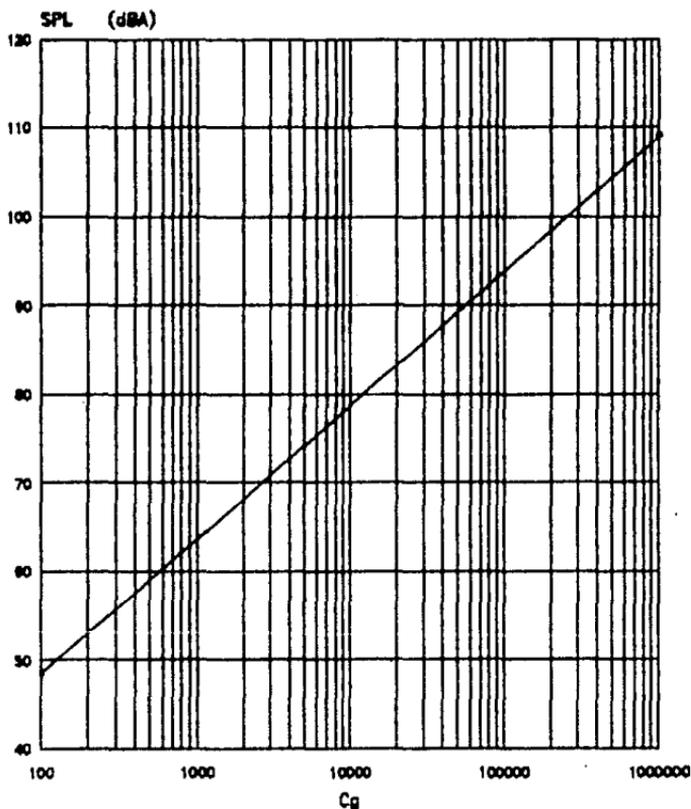
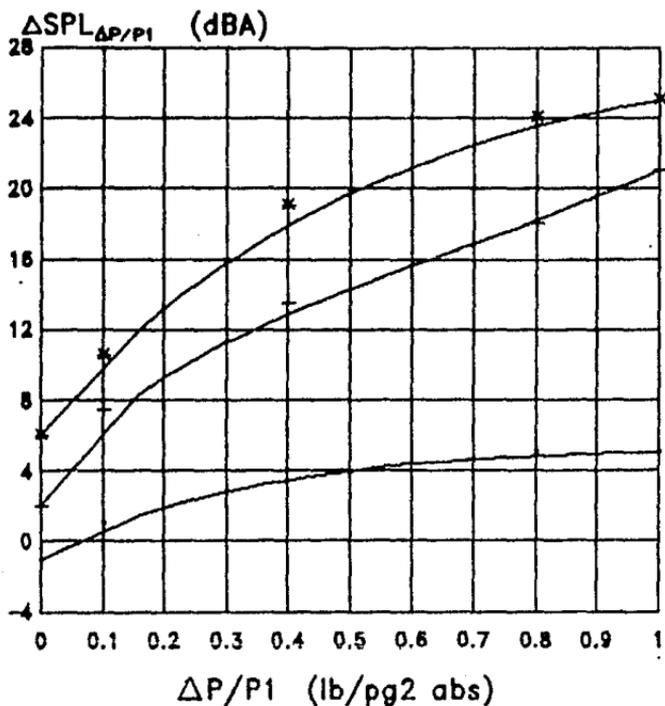


FIGURA 24

$\Delta SPL_{\Delta P/P1}$ vs $\Delta P/P1$ PARA VALVULAS FUERA DE TRAYECTORIA DE LA TUBERIA Y CON ATENUADOR WHISPER TRIM V



— FLUJO INVERSO, U,UR —+ FLUJO DIRECTO
 V100 O MARIPOSA DISEÑO V25
 * FLUJO DIRECTO, VALVS
 U, UR o V100 CON ATENUADOR
 WHISPER TRIM V

FIGURA 25-A

$\Delta SPL_{\Delta P/P_1}$ vs $\Delta P/P_1$ PARA VALVULAS DE GLOBO
CON CAJA ESTANDAR O WHISPER TRIM 1

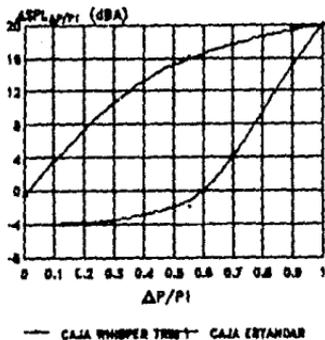


FIGURA 25-B

$\Delta SPL_{\Delta P/P_1}$ vs $\Delta P/P_1$ PARA VALVULA TIPO
200 CON CAJA RANURADA

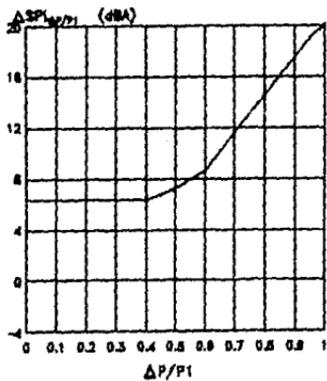


FIGURA 25-C

$\Delta SPL_{\Delta P/P1}$ vs $\Delta P/P1$ PARA VALVULA DE GLOBO
CON CAJA WHISPER TRIM III

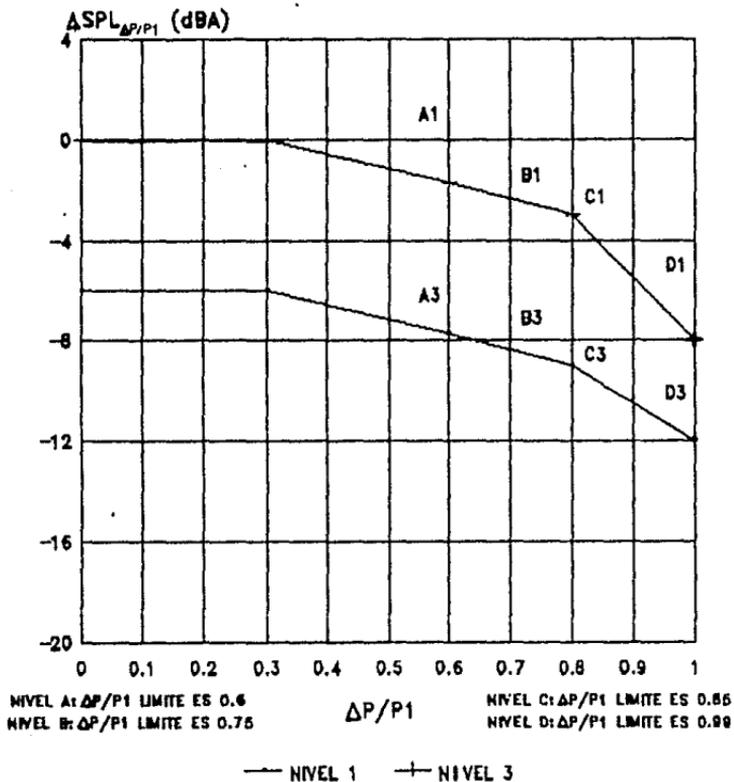


FIGURA 25-D

$\Delta SPL_{\Delta P/P1}$ vs $\Delta P/P1$ PARA VALVULAS CON
DIFUSOR EN LA TUBERIA

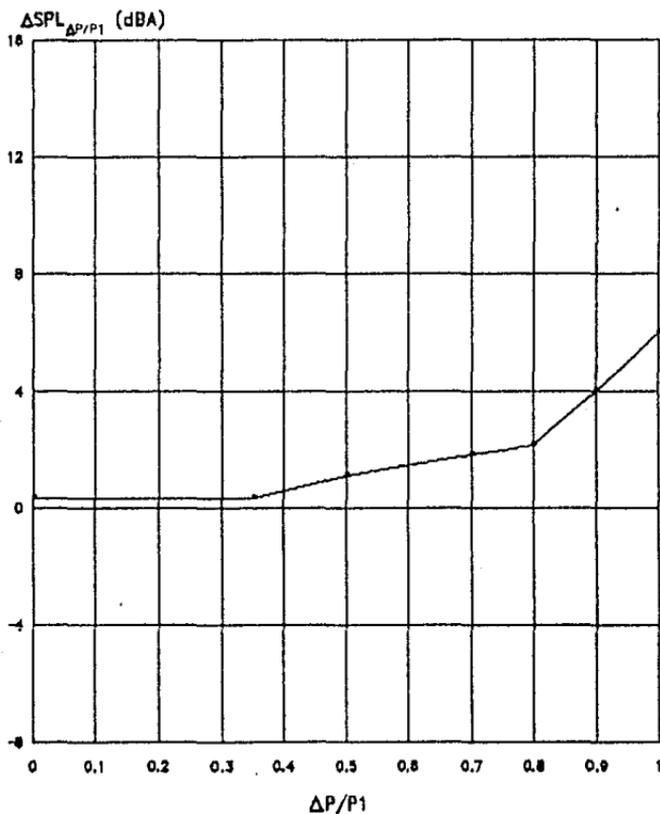


FIGURA 25-E

ΔSPL_{P_2} vs P_2 PARA TODO TIPO DE VALVULAS

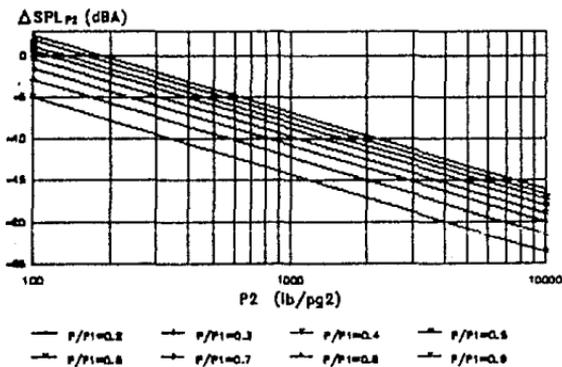
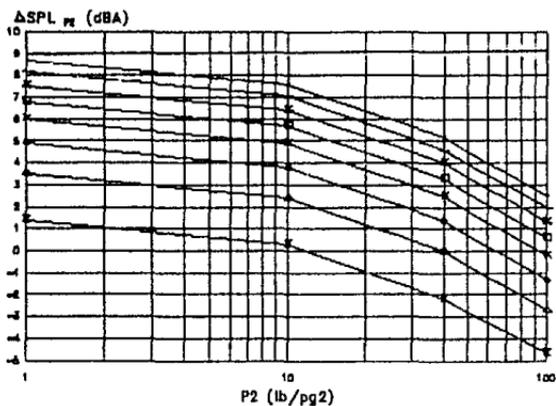


FIGURA 26

TABLA 9 RUIDO AERODINAMICO ASPL_K
CORRECCION POR ATENUACION DE LA TUBERIA (dBA)

CEDULA TUBERIA DE ACERO													
D	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160	STD	X8	X35
1	...	...	...	-19.0 ¹	...	-21.8	...	...	...	-24.5	-19.0	-21.8	-27.8
1-1/2	...	...	...	-19.8 ¹	...	-22.8	...	...	...	-25.8	-19.8	-22.8	-26.6
2	...	...	...	-20.4 ¹	...	-23.4	...	...	...	-27.3	-20.4	-23.4	-29.4
3	...	...	...	-23.4 ¹	...	-26.2	...	...	...	-29.5	-23.4	-26.2	-32.3
4	...	...	...	-24.2 ¹	...	-27.2	...	-29.5	...	-31.2	-24.2	-27.2	-33.2
6	...	...	...	-25.8 ¹	...	-29.5	...	-31.8	...	-33.9	-25.8	-29.5	-35.5
8	...	-24.9	-25.8	-27.1 ¹	-29.1	-30.9	-32.4	-34.1	-35.1	-36.1	-27.1	-30.9	-35.8
10	...	-24.9	-26.7	-28.2 ¹	-31.0	-32.4	-34.1	-35.5	-37.0	-38.0	-28.2	-31.0	...
12	...	-25.1	-27.5	-29.3	-32.1	-33.8	-35.8	-37.1	-38.1	-39.5	-28.6	-31.1	...
14	-25.4	-27.1	-28.7 ¹	-30.0	-32.8	-34.7	-36.6	-38.0	-39.1	-40.1	-29.7	-31.2	...
16	-25.3	-27.2	-28.8 ¹	-31.3	-33.8	-35.8	-37.8	-39.0	-40.4	-41.3	-28.8	-31.3	...
18	-25.3	-27.2	-30.1	-32.3	-34.8	-36.7	-38.8	-40.1	-41.2	-42.3	-28.8	-31.3	...
20	-25.4	-28.9 ¹	-31.4	-32.9	-35.8	-37.7	-39.1	-40.9	-42.3	-43.3	-28.9	-31.4	...
24	-25.8	-29.1 ¹	-32.8	-34.4	-37.4	-39.4	-41.3	-42.8	-43.9	-45.0	-29.1	-31.8	...
30	-27.7	-31.8	-33.7	...	...	...	...	...	...	...	-29.3	-31.6	...
36	-28.0	-32.1	-34.1	-36.6	...	...	...	...	...	...	-29.6	-32.1	...
42	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	-29.8	-32.3	...
48	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	-29.9	-32.4	...
48	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	-30.0	-32.5	...
52	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	-30.2	-32.7	...
56	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	-30.3	-32.8	...
60	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	-30.4	-32.9	...

1. Cédula estándar

TUBERIA DE ACERO INOXIDABLE				
D	5S	10S	40S	80S
1	-12.8	-17.3	-19.0	-21.8
1-1/2	-12.8	-17.3	-19.8	-22.6
2	-12.8	-17.4	-20.4	-23.4
3	-15.1	-18.3	-24.3	-26.2
4	-15.0	-18.2	-24.2	-27.2
6	-17.6	-19.4	-25.8	-29.5
8	-17.7	-20.3	-27.1	-30.9
10	-19.5	-21.3	-28.2	-31.0
12	-21.0	-22.2	-28.6	-31.1

NOTA: Utilice la siguiente ecuación para calcular ASPL_K para diámetros no incluidos.

$$ASPL_{K} = 10 \log \left(\frac{1}{t^2 (D_0 + 78.7)} \right) - 17.5$$

donde:

t = espesor del tubo, pg

D₀ = diámetro exterior, pg

donde:

SLP = nivel total de ruido a un metro de la válvula corriente abajo y a un metro de la tubería, decibel.

SPL_Δ = nivel de sonido base, determinado en función de la caída de presión, decibel.

ΔSPL_C = corrección por coeficiente de dimensionamiento, decibel.

ΔSPL_P / P₁ = corrección por tipo de válvula y caída de presión con P₁ en lb/pg² abs, decibel.

ΔSPL_{ka} = corrección por diámetro y cédula de tubería, decibel.

ΔSPL_{P₂} = corrección por presión de salida, P₂ en lb/pg² man, decibel.

Si la tubería tiene algún aislamiento acústico, considerar una reducción en el nivel de sonido de 8 a 10 dBA por pulgada de espesor de aislante. La reducción máxima está limitada, por este método, a 24-27 dBA.

CAPITULO VI

EJEMPLOS DE APLICACION

6.1 Ejemplos para Líquido.

EJEMPLO 1. En un oleoducto de 8 pg. se requiere instalar una válvula de control, que sea poco susceptible a la cavitación y que provoque una caída de presión pequeña. La válvula se instalará con reducciones concéntricas estándar. Las condiciones de operación son las siguientes:

$$q = 27,429 \text{ bl/día}$$

$$P_1 = 300 \text{ lb/pg}^2 = 314.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$P_2 = 275 \text{ lb/pg}^2 = 289.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$\Delta P = 25 \text{ lb/pg}^2$$

$$T = 70 \text{ °F}$$

$$\gamma_f = 0.9206 \text{ (agua=1.00)}$$

$$P_v = 18.9 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

Determinar el diseño y el diámetro apropiado de la válvula.

SOLUCION

1) Diseño de la válvula.

De acuerdo a las características requeridas y a las condiciones de operación y según los manuales del fabricante se determinó una válvula de globo, Diseño ES, Clase 300, con caja lineal. Para iniciar los cálculos se supondrá un diámetro de 3 pg.

2) Determinar el valor de N_1

Como el fluido de proceso es aceite crudo sin gas, se utilizará la ecuación 16, la cual requiere el valor de la constante N_1 . Para este caso, de acuerdo a las unidades utilizadas tenemos que, de la Tabla 4:

$$N_1 = 34.286$$

3) Determinar F_p , el factor geométrico de tubería.

Debido a que se propone instalar una válvula de 3 pg en una tubería de 8 pg con reductores idénticos, será necesaria la determinación de F_p . Para utilizar la ecuación 1, determinar primero el coeficiente de caída de presión con la Ec 6:

$$\Sigma K = 1.5 \left[1 - \left(\frac{30}{80} \right)^2 \right]^2$$

$$\Sigma K = 1.11$$

Sustituyendo los valores en la Ec. 1:

$$F_p = \left[1 + \frac{1.11}{890} \left(\frac{121}{3^2} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

$$F_p = 0.90$$

donde:

$C_v = 121$ (de las tablas del Apéndice A, para el diseño de válvula especificado y el diámetro supuesto, al 100% de apertura)

$N_2 = 890$ (como el diámetro de la tubería y válvula están en pulgadas, de la Tabla 4 se obtiene

este valor)

- 4) Determinar F_v , el factor de flujo crítico o Δ_{PT} , la caída permisible de presión.

Para este ejemplo, la caída de presión es pequeña ($\Delta P = 25 \text{ lb/pg}^2$), por lo que el flujo no será crítico. Para este caso, $F_v = 1.0$.

- 5) Determinar F_R , el factor del número de Reynolds.

Para las condiciones especificadas de servicio, no se requerirá del cálculo de este factor, debido a que el flujo laminar no se presentará, por lo que $F_R = 1.0$.

- 6) Determinar el coeficiente C_v , utilizando la Ec. 16.

$$C_v = \frac{27420}{(34.280)(0.90) \left[\frac{25}{0.0205} \right]^{1/2}}$$
$$C_v = 170.6$$

7) Seleccionar el diámetro de la válvula, utilizando los coeficientes de flujo (Apéndice A) y calcular el valor de C_v . El requerimiento de $C_v = 170.6$, excede la capacidad de la válvula supuesta, que es de $C_v = 121.0$. Aunque en este ejemplo es obvio que la válvula inmediata superior (4 pg) cubrirá los requerimientos especificados, otras aplicaciones necesitarán más de un cálculo.

Suponiendo que la válvula es de 4 pg, entonces $C_v = 203$. Este valor se determina de las tablas del Apéndice A. Para una válvula Diseño ES, Clase 300 con caja lineal, calcular el nuevo requerimiento de C_v para la válvula de 4 pg. Sustituyendo el valor de $C_v = 203$ en la Ec. 6:

$$EK = 1.5 \left[1 - \frac{(4)^2}{(8)^2} \right]^2$$

$$IK = 0.84$$

En la Ec. 1

$$F_p = \left[1.0 + \frac{0.84}{890} \left(\frac{203}{4^2} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

$$F_p = 0.99$$

en la Ec. 14:

$$C_v = \frac{27429}{(34.288)(0.99) \left[\frac{25}{0.9206} \right]^{1/2}}$$

$$C_v = 153.0$$

Esta solución sólo indica que la válvula de 4 pg es lo suficientemente grande para satisfacer las condiciones de servicio dadas, es decir, el $C_v = 153.0$ requerido es menor que el C_v máximo de la válvula ($C_v = 203$).

Suponiendo que la válvula es de 4 pg, $C_v = 153.0$. Este valor se determina de las tablas del Apéndice A. Calcular el nuevo requerimiento de C_v para la válvula de 4 pg.

Sustituyendo en la Ec. 1:

$$F_p = \left[1.0 + \frac{0.84}{890} \left(\frac{153.0}{4^2} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

$$F_p = 1.00$$

entonces el C_v requerido es:

$$C_v = \frac{27429}{(34.288)(1.0) \left[\frac{29}{0.9206} \right]^{1/2}}$$

$$C_v = 153.5$$

Si se realiza un nuevo cálculo de F_p , se tiene que:

$$F_p = 0.96$$

con lo que el valor de C_v , calculado con $F_p = 0.96$ es:

$$C_v = 159.9$$

Un nuevo cálculo proporcionará el mismo valor para F_p y, por lo tanto, para C_v , por lo que el procedimiento se ha completado y el resultado final es que una válvula del diseño seleccionado de 4 pg abierta a un 82% aproximadamente, será la adecuada.

EJEMPLO 2: Un sistema de recirculación de crudo en una instalación de bombeo, requiere una válvula de control, debido a que se requiere que la descarga de las bombas no sobrepase una presión de 700 lb/pg²abs. Si la presión de succión de las bombas es de 60 lb/pg²abs, determinar el diámetro requerido por la válvula, tomando en cuenta que el diámetro de la tubería es de 6 pg y que el gasto máximo a recircular es de 20000 bl/día (583 gal/min) Además se tiene la siguiente información:

Fluido de proceso: aceite crudo

$$T = 100 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\gamma_f = 0.8534 \text{ (agua=1.00)}$$

$$P_v = 20.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

SOLUCION

1) Diseño de la válvula.

De acuerdo a las condiciones requeridas de operación, y según los manuales del fabricante, se determinó utilizar una válvula Diseño EHS, Clase 1500 de caja lineal. Para iniciar los cálculos se supondrá un diámetro de 8 pg.

2) Determinar el valor de N_1 .

Debido a las unidades utilizadas, y como se requerirá de la Ec. 1, de la Tabla 4 se obtiene el valor de N_1 :

$$N_1 = 1.0$$

3) Determinar F_p , el factor geométrico de tubería.

Debido a que el diámetro de la tubería y el diámetro supuesto de la válvula son iguales, $F_p = 1.0$.

4) Determinar F_v , el factor de flujo crítico, o Δ_{pv} , la caída permisible de presión.

Primero se calcula el cociente de la presión de vapor, entre la presión crítica del fluido:

$$\frac{P_v}{P_c} = \frac{20.7}{58} = 0.36$$

Con este cociente se determina el valor de F_v , de la Figura 12:

$$F_v = 0.8$$

De las tablas del Apéndice A, determinar el valor de K_m , para la válvula supuesta:

$$K_m = 0.70$$

Sustituyendo los valores en la Ec. 9, se determina F_v , y en la Ec. 14, se determina Δ_{PT} :

$$F_v = 0.79 \left[(700 - (0.8)(20.7)) / (700 - 80) \right]^{1/2}$$

$$F_v = 0.81$$

con la Ec. 14:

$$\Delta_{PT} = (0.79)^2 (700 - (0.8)(20.7))$$

$$\Delta_{PT} = 427 \text{ lb/pg}$$

El valor obtenido de F_v menor que 1.0, indica que se presentará la condición de flujo crítico en la válvula. Así mismo, la caída permisible de presión obtenida es menor que la caída de presión a condiciones de servicio, por lo cual es recomendable implementar algún sistema para evitar el flujo crítico. En este caso, como la presión de salida es mayor que la presión de vapor del fluido, el flujo crítico se presentará en forma de cavitación.

Suponiendo un nuevo diseño de válvula, determinar el factor F_v , para una válvula de 8 pg Diseño EHT, Clase 1500, con caja Cavitrol III:

Para este diseño de válvula $K_m = 0.95$

Sustituyendo en la Ec. 9:

$$F_v = 0.95 \left[(700 - (0.8)(20.7)) / (700 - 80) \right]^{1/2}$$

$$F_v = 0.99$$

Con 1ª Ec. 14:

$$\Delta_{PT} = (0.98)^2 (700 - (0.8)(20.7))$$

$$\Delta_{PT} = 630 \text{ lb/pg}^2$$

Estos resultados indican que la cavitación persistirá, aunque con menos severidad; se puede tomar en cuenta que si la válvula sólo va a manejar el gasto máximo durante cortos instantes, se puede continuar con el procedimiento de dimensionamiento.

5) Determinar el factor del número de Reynolds, F_R .

Para las condiciones de servicio, el flujo laminar no se presentará, por lo tanto, $F_R = 1.0$.

6) Determinar el coeficiente de flujo C_V , utilizando la Ec. apropiada.

Sustituyendo los valores en la Ec. 18, y utilizando F_V :

$$C_V = \frac{530}{(1.0)(0.98) \left[\frac{640}{0.8534} \right]^{1/2}}$$

$$C_V = 19.5$$

Utilizando Δ_{PT} :

$$C_V = \frac{530}{(1.0) \left[\frac{630}{0.8534} \right]^{1/2}}$$

$$C_V = 19.5$$

Los resultados anteriores son idénticos para F_V y para Δ_{PT} . El C_V obtenido indica que la válvula supuesta, a un 20% de apertura, será la adecuada para las condiciones de servicio.

Ejemplo 3. Una batería de separación recibe la producción de los pozos de un campo con crudo altamente viscoso. Cuenta con dos separadores de segunda etapa, uno de los cuales se encuentra disponible, en caso de que el otro necesite salir de operación. El separador disponible cuenta con capacidad suficiente para manejar la producción, pero la descarga de aceite está regulada por una válvula de control de 2 pg en una tubería del mismo diámetro. Si las condiciones de servicio son las siguientes:

Válvula: Diseño V100, flujo normal, 2 pg de diámetro.

Fluido : Aceite crudo.

$$q = 1029 \text{ bl/día}$$

$$P_1 = 19 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs}$$

$$P_2 = 15 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs}$$

$$P_v = \text{despreciable}$$

$$T_i = 86 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\gamma_f = 0.9486 (\text{agua} = 1.00)$$

$$\nu = 4000 \text{ centistoke}$$

Determinar si la válvula instalada es adecuada para dichas condiciones.

SOLUCION

1) Diseño de la válvula.

Tal como se especificó, la válvula es Diseño V100, flujo normal, de 2 pg de diámetro.

2) Determinar N_1 .

De acuerdo con las unidades utilizadas, de la Tabla 4 tenemos que:

$$N_1 = 34.296$$

3) Determinar F_p , el factor geométrico de la tubería.

Debido a que el diámetro de la válvula es igual al diámetro de la

tubería $F_p = 1.0$.

4) Determinar F_v , el factor del flujo crítico.

Basandose en los requerimientos de caída de presión, el flujo crítico no se presentará por lo tanto, $F_v = 1.0$.

5) Determinar F_R , el factor del número de Reynolds.

Debido a la alta viscosidad del fluido y a la baja caída de presión, se procederá a calcular el número de Reynolds para determinar si existe o no flujo laminar.

a) Calcular el pseudocoefficiente de dimensionamiento, C_{vc} , utilizando la Ec. 14:

$$C_{vc} = \frac{1029}{34.286 \left[\frac{4}{0.9466} \right]^{1/2}}$$

$$C_{vc} = 14.6$$

b) Calcular el número de Reynolds. Sustituyendo en la Ec. 15:

$$R_{ev} = \frac{(504.583)(1.0)(1029)}{(4000)(1.0)^{1/2}(14)^{1/2}} \left[\frac{((1.0)(14.6))^2}{(890)(2)^4} + 1 \right]^{1/4}$$

donde:

$$N_2 = 890 \text{ (de la tabla 4)}$$

$$N_4 = 504.583 \text{ (de la tabla 4)}$$

$$C_v = 14.6$$

$$F_{LF} = 1.0 \text{ (por no tener accesorios)}$$

$$F_d = 1.0 \text{ (debido a que la válvula Diseño V100 tiene un solo conducto de flujo)}$$

$$R_{ev} = 34.8$$

Este resultado indica que el flujo laminar está presente en la válvula, por lo que se procederá con el cálculo de F_R .

c) Determinar F_R de la Figura 14 utilizando el número de Reynolds calculado, para la línea de selección de válvula :

Valor obtenido de la gráfica $F_R = 0.20$

B) Calcular el C_v requerido con la ecuación apropiada :

sustituyendo en la Ec. 18:

$$C_v = \frac{1029}{(34.286)(1.0)(1.0)(0.20)(4/0.9486)^{1/2}}$$

$$C_v = 73$$

Con este coeficiente de flujo calculado, determinar nuevamente el número de Reynolds.

Sustituyendo en la Ec. 15 el valor de $C_v = 73$

$$R_{ev} = 18$$

De la Figura 15 con el valor de $R_{ev} = 18$ se obtiene :

$$F_R = 0.13$$

Sustituyendo en la ecuación 14 :

$$C_v = 112$$

Después de cuatro cálculos más, se obtiene el C_v correcto que se ajusta al número de Reynolds :

$$C_v = 139$$

Este valor de C_v se puede comparar entonces con los valores que corresponden a la válvula instalada, Diseño V100, Flujo Normal, de 2 pg, cociente $d/D = 1.0$

Los valores en la tabla indican que la válvula instalada es apenas suficiente para las condiciones de servicio, trabajando a una rotación aproximada de 85 %.

6.2 Ejemplos Para Gases.

EJEMPLO 1. Una batería de separación tiene un paquete de regulación de gas, que consta de 4 válvulas de control diseño V25 de 4 pg cada una, instaladas en tuberías del mismo diámetro. Se tienen las siguientes condiciones de servicio :

$$P_1 = 155 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$P_2 = 19.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$\Delta P = 135.3 \text{ lb/pg}^2$$

$$x = \Delta P / P_1 = 135.3 / 155 = 0.87$$

$$T_1 = 60 \text{ }^\circ\text{F} = 520 \text{ }^\circ\text{R}$$

$$M = 17.38$$

$$\gamma_g = 0.60 \text{ (aire} = 1.0)$$

$$k = 1.31$$

Si el gasto máximo instantáneo a manejar es de 156×10^3 pie³/día, determinar si el paquete es de capacidad suficiente. De ser así, calcular el porcentaje de apertura de cada una de las válvulas para el gasto máximo.

SOLUCION :

1) Diseño de la válvula.

Tal como se indicó en el párrafo anterior, las válvulas son Diseño V25 de 4 pg de diámetro.

2) Determinar la constante N

Debido a que se va a utilizar la Ec. 21, y de acuerdo a las unidades empleadas, de la Tabla 4 tenemos que :

$$N_7 = 32840$$

3) Determinar F_p , el factor geométrico de la tubería.

Debido a que el diámetro de la tubería es igual al diámetro de las válvulas, $F_p = 1.0$

4) Determinar Y , el factor de expansión.

Para utilizar la ecuación 21 se calculará el factor F_k , y con la ecuación 22 el valor de x_T .

$$F_k = 1.31/1.4$$

$$F_k = 0.94$$

$$C_v = 11800 \text{ (del Apéndice A)}$$

$$C_v = 677 \text{ (del Apéndice A)}$$

$$x_T = \left[\frac{11800}{40(677)} \right]^2$$

$$x_T = 0.18$$

El producto $F_k x_T$ es:

$$F_k x_T = 0.17$$

Como el producto de $F_k x_T$ es menor que el valor de $x = 0.87$, el factor de expansión Y , toma su valor mínimo, es decir $Y = 0.687$.

Sustituyendo en la ec. 25 :

$$C_v = \frac{39 \times 10^6}{32840(1.0)(155)(0.667) \left[\frac{0.17}{(0.6)(520)(0.938)} \right]^{1/2}}$$

$$C_v = 479$$

Para el C_v calculado corresponde una apertura del 90% aproximadamente, lo que indica que las válvulas del paquete de regulación puede manejar el gasto máximo. Para calcular el porcentaje correcto de apertura, el C_v obtenido debe sustituirse en la Ec. 22 y calcular una nueva x_T para recalculer el valor de C_v . Este procedimiento se deberá repetir hasta que el valor de C_v y el porcentaje de apertura no varien.

De tablas del Apéndice A , para una válvula Diseño V25 4 pg y una apertura de 90% :

$$C_g = 9190$$

Sustituyendo en la Ec. 22.

$$x_T = \left[\frac{9190}{40(479)} \right]^2$$

$$x_T = 0.69$$

El valor de $F_k x_T$ es ahora:

$$F_k x_T = 0.65$$

Este valor implica que $Y = 0.667$

Sustituyendo en la Ec.25:

$$C_v = 245$$

que corresponde a una apertura del 74%

Haciendo nuevos cálculos:

$$C_v = 6140 \text{ (de tablas, del Apéndice A, para una apertura del 74\%)}$$

$$x_T = 0.39$$

$$F_k x_T = 0.37$$

$$Y = 0.667$$

$C_v = 325$ (que corresponde a una apertura de 81%)

$$C_g = 7300 \text{ (de tablas, del Apéndice A para una apertura del 81\%)}$$

$$x_T = 0.32$$

$$F_k x_T = 0.30$$

$$Y = 0.667$$

$C_v = 360$ (que corresponde a una apertura del 83%)

Tres cálculos más proporcionarán el valor definitivo de C_v y del porcentaje de apertura.

$$C_v = 395$$

apertura = 85% para cada una de las cuatro válvulas.

EJEMPLO 2. Una corriente de vapor se suministrará a un proceso diseñado para operar a 250 lb/pg^2 man. La fuente de suministro proviene de un calentador manteniendo a 500 lb/pg^2 man. y 500°F . Se planea construir una tubería de 6 pg desde el calentador para alimentar al proceso. Determinar el diámetro apropiado de una

válvula de control Diseño ED con caja lineal que regule la presión entre el calentador y el proceso; si las condiciones de servicio son las siguientes:

Diámetro supuesto de 4pg.

Fluido de proceso: vapor recalentado.

$$w = 125000 \text{ lb/hora}$$

$$P_1 = 500 \text{ lb/pg}^2 \text{ man.} = 314.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$P_2 = 250 \text{ lb/pg}^2 \text{ man.} = 264.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$\Delta P = 250 \text{ lb/pg}^2$$

$$x = \Delta P / P_1 = 250 / 314.7 = 0.49$$

$$T_1 = 500^\circ\text{F}$$

$$\delta_1 = 1.034 \text{ (de tablas de propiedades de vapor)}$$

$$k = 1.28 \text{ (de tablas de propiedades de vapor)}$$

(Si el diámetro requerido de válvula es menor que 6 pg se utilizarán reducciones concéntricas)

SOLUCION

1) Diseño de válvula.

De acuerdo a las condiciones de servicio y según los manuales del fabricante se seleccionó una válvula Diseño ED Clase 300 con caja lineal. Para iniciar los cálculos se supondrá un diámetro de 4 pg.

2) Determinar la constante apropiada N, para la Ec. de dimensionamiento.

Debido a que el gasto está especificado en unidades de peso (lb/hora) y se conoce el peso específico del vapor, la única ecuación de dimensionamiento que puede utilizarse, es la que contiene la constante N_g . Por lo tanto, de la Tabla 4:

$$N_g = 83.3$$

3) Determinar F_p , el factor geométrico de la tubería.

Para utilizar la Ec 1, se determinara primero K con la Ec 2.

$$K = 1.8 \left[1 - \frac{4^2}{8^2} \right]^2$$

$$K = 0.463$$

Sustituyendo en la Ec 1:

$$F_p = \left[1 + \frac{0.463}{890} \left[\frac{(1.0)(236)}{(4)^2} \right]^2 \right]^{-1/2}$$

$$F_p = 0.95$$

4) Determinar Y, el factor de expansión.

$$Y = 1 - \frac{x}{3 F_k x_{TP}}$$

Donde x_{TP} se calculará con la Ec. 23.

Utilizando la Ec. 22:

$$x_T = \left[\frac{7830}{40(236)} \right]^2$$

$$x_T = 0.668$$

Utilizando la Ec 10:

$$K_i = 0.8 \left[1 - \frac{4^2}{8^2} \right]^2 + \left[1 - \left(\frac{4}{8} \right)^4 \right]$$

$$K_i = 0.98$$

Sustituyendo en la Ec. 23:

$$x_T = \frac{0.69}{0.95^2} \left(1 + \frac{(0.69)(0.98)}{1000} \left(\frac{236^2}{4^2} \right)^{-1} \right)^{-1}$$

$$x_T = 0.67$$

Sustituyendo en la Ec. 21:

$$Y = 1 - \frac{0.49}{(3)(0.91)(0.67)}$$

$$Y = 0.73$$

5) Calcular el C_v requerido, utilizando la Ec. apropiada.

Sustituyendo en la Ec. 27:

$$C_v = \frac{125000}{(63.3)(0.95)(0.73)[(0.49)(514.7)(1.0434)]^{1/2}}$$

$$C_v = 176$$

6) Seleccionar el diámetro apropiado utilizando las tablas de coeficiente de flujo.

Consultar la tabla del Apéndice A de coeficientes para válvulas diseño ED con caja lineal. Debido a que la válvula con diámetro supuesto de 4 pg tiene un C_v de 236 al 100% de apertura, y el diámetro siguiente más pequeño (3 pg) tiene un C_v de 148, puede concluirse que el valor supuesto para el diámetro (4 pg) es correcto. Si el valor calculado hubiera sido más pequeño, como para que una válvula de 3 pg manejara el flujo, o bien, que el C_v hubiera sido demasiado grande para el diámetro supuesto de 4 pg, sería necesario repetir el procedimiento para un nuevo diámetro.

6.3 Ejemplo Para Dos Fases.

EJEMPLO 1. Determinar el C_v para una válvula Diseño V25 con flujo en dos fases para las siguientes condiciones:

Gasto del líquido = 3000 galón/min.

Gasto de gas = 825000 pie³/hora

$$T_i = 100^\circ\text{F} = 560^\circ\text{R}$$

$$P_i = 414.7 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$\Delta P = 40 \text{ lb/pg}^2$$

$$\gamma_f = 1.5 \text{ (agua} = 1.00)$$

$$P_v = 30 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$P_c = 200 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$\gamma_g = 1.4 \text{ (agua} = 1.00)$$

SOLUCION

1) Para iniciar los calculos se supondrá un diámetro de 8 pg.

2) Determinar si el gas alcanza el flujo critico.

De tablas de coeficientes de flujo para una válvula diseño V25:

$$C_v = 2330$$

$$C_g = 37300 \text{ al } 100\% \text{ de apertura.}$$

entonces:

$$C_i = \frac{C_g}{C_v} = \frac{37300}{2330} = 16$$

entrando con este valor a la Figura 16-A obtenemos que para que el

gas alcance el flujo crítico:

$$\frac{\Delta P}{P_1} = 0.17$$

El valor calculado del cociente de la caída de presión con respecto a la presión de entrada es:

$$\frac{\Delta_p}{P_1} = \frac{40}{414.7} = 0.096$$

Como el valor calculado es menor que el valor obtenido de la gráfica, el gas no alcanzará el flujo crítico.

3) Determinar si el líquido alcanzará el flujo crítico.

Utilizando la Ec.12. Obtener el valor de F_p de la Figura 12 con cociente P_v/P_c .

$$P_v/P_c = 30/200 = 0.15$$

de la Figura 12 obtenemos el siguiente valor:

$$F_p = 0.64$$

sustituyendo en la Ec.12 con un valor de $K_m = 0.39$ (de tablas):

$$\Delta_p = 0.39^2(414.7 - (0.64)(30))$$

$$\Delta_p = 56 \text{ lb/pg}^2$$

Como el valor calculado de Δ_p es mayor que la caída de presión requerida para el proceso, el líquido no alcanzará el flujo crítico.

4) calcular el C_{vl} y el C_{vg} requeridos.

Suponiendo que la válvula será instalada en una tubería del mismo diámetro y siguiendo los procedimientos de dimensionamiento para líquido y para gas, tenemos que:

$$C_{vl} = 581$$

$$C_g = 2710$$

y

$$C_{vg} = \frac{C_g}{C_l} = \frac{2710}{16} = 169$$

5) Calcular el factor del cociente del volumen de gas.

Sustituyendo en la Ec. 29:

$$V_f = \frac{625000}{\frac{(284)(3000)(414.7)}{560} + 625000}$$

$$V_f = 0.493$$

Utilizando la Figura 15 para el valor de V_f obtenido :

$$F_m = 0.475$$

6) Calcular el C_v requerido para la mezcla.

Utilizando la Ec. 28:

$$C_{vr} = (581 + 169)(1 + 0.475)$$

$$C_{vr} = 1106$$

6.4 Ejemplos de Predicción de Ruido.

EJEMPLO 1. Dada la siguiente información calcular el ruido hidrodinámico, generado en la válvula de control.

- a) Tipo de válvula: Diseño ED
- b) Tipo de Caja: estándar
- c) Tubería adyacente: 2pg, cédula 40
- d) $P_1 = 250 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$
- e) Caída de presión = 175 lb/pg^2
- f) $P_v = 11.5 \text{ lb/pg}^2$
- g) $C_v = 70$

SOLUCION

1) Calcular el cociente de caída de presión $\Delta_p / (P_1 - P_v)$:

$$\frac{\Delta_p}{P_1 - P_v} = \frac{175}{250 - 11.5}$$
$$= 0.734$$

2) De la Figura 22, entrando con la caída de presión:

$$SLP_{\Delta_p} = 59 \text{ decibel}$$

3) De la Figura 23, entrando con el C_v :

$$ASPL_{C_v} = 37 \text{ decibel}$$

4) De la Figura 26, entrando con el cociente de caída de presión

$$ASPL_{\Delta_p / (P_1 - P_v)} = -8 \text{ decibel}$$

5) De la Figura 25, entrando con el diámetro y la cédula de la tubería:

$$\Delta SPL_k = 0$$

6) Sustituyendo los valores en la Ec.33:

$$SPL = 59 + 37 - 8 + 0$$

$$SPL = 88 \text{ decibel}$$

EJEMPLO 2. Dada la siguiente información, calcular el ruido aerodinámico, generando por la válvula de control.

- a) Tipo de válvula: globo
- b) Tipo de caja: estándar
- c) Tubería adyacente: 8 pg, cédula 40
- d) $P_1 = 815 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$
- e) $P_2 = 252 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$
- f) $\Delta P = 348 \text{ lb/pg}^2$
- g) $\Delta P/P_1 = 0.57$
- h) $C_g = 4000$

Para utilizar la Ec. 34, se procederá a leer los valores necesarios de las gráficas correspondientes.

SOLUCION

1) De la Figura 31, entrando con la caída de presión:

$$SPL_{\Delta P} = 51 \text{ decibel}$$

2) De la Figura 32, entrando con el C_g :

$$\Delta SPL_{C_g} = 72 \text{ decibel}$$

3) De la Figura 35, entrando con Δ_P/P_1 :

$$\Delta SPL_{\Delta_P/P_1} = 15.5 \text{ decibel}$$

4) De la Figura 9, entrando con la cédula de la tubería:

$$\Delta SPL_k = -27.1 \text{ decibel}$$

5) De la Figura 40, entrando con P_2 :

$$\Delta SPL_{P_2} = -3.2 \text{ decibel}$$

Sustituyendo los valores en la Ec. 34:

$$SPL = 51 + 72 + 15.5 - 27.1 - 3.2$$

$$SPL = 108.2 \text{ decibel}$$

Dado el resultado obtenido, es aconsejable instalar algún dispositivo de aislamiento acústico, para disminuir el nivel de presión de sonido.

EJEMPLO 3 Una válvula de control de 8 pg. está instalada en una tubería del mismo diámetro. Construir el espectro de nivel de banda octava, si la válvula tiene una caja estándar y un SPL = 85 decibel a las condiciones de servicio.

SOLUCION

Se utiliza la ecuación 32 y los valores de la tabla 7

SPL a	63 Hz	$SPL = 85 + (-50) = 35 \text{ decibel}$
	125 Hz	$SPL = 85 + (-50) = 35 \text{ decibel}$
	250 Hz	$SPL = 85 + (-39) = 46 \text{ decibel}$
	500 Hz	$SPL = 85 + (-27) = 58 \text{ decibel}$
	1000 Hz	$SPL = 85 + (-15) = 70 \text{ decibel}$

SPL @ 2000 Hz	SPL = 85 + (-3) = 82 decibel
4000 Hz	SPL = 85 + (-6) = 79 decibel
8000 Hz	SPL = 85 + (-9) = 76 decibel

CONCLUSIONES

En los capítulos anteriores, se estudiaron los aspectos que integran la descripción de las válvulas, características y su dimensionamiento. Los métodos presentados, son establecidos como norma oficial por el Instituto Americano del Petróleo. Existen otros métodos que varían de acuerdo al fabricante, pero en esencia tienen el mismo concepto básico, que se refiere en sí a las ecuaciones para dimensionar.

En los ejemplos solamente se citan algunas condiciones de operación para determinar el diseño de la válvula, aunque esta determinación requiere de otras consideraciones prácticas que son adquiridas a través de la experiencia. Se puede comentar el ejemplo 1 para líquidos, en el cual se seleccionó una válvula diseño ES. En este caso, una válvula ED también podría utilizarse, ya que ambas son válvulas de globo con puerto sencillo. La diferencia estriba en que la válvula ES tiene asiento de teflón, lo que permite un mejor cierre, comparado a la válvula ED, que tiene asiento de metal. Seguramente existen otros diseños de válvulas que pueden satisfacer las condiciones de operación en este ejemplo pero es indispensable la información contenida en los catálogos del fabricante para una selección adecuada del diseño.

En el ejemplo 2 para líquidos, la consideración predominante para la selección del diseño es la presión. Las válvulas diseño de EHS son para alta presión.

El ejemplo 3 para líquidos presenta el análisis de una válvula mal seleccionada. La válvula diseño V100, es una válvula de bola de cierre hermético. Esta no es del todo adecuada para controlar el nivel en el separador, sin embargo según el ejemplo, es la que está instalada.

En el ejemplo 2 para gases el fluido de proceso es vapor. Aquí se puede pensar en una aplicación a la inyección de vapor, o bien

a la extracción del mismo de yacimientos geotérmicos.

El cálculo del ruido en los últimos tres ejemplos, proporciona un medio para determinar si las instalaciones requieren dispositivos especiales para operar dentro de los límites aceptables.

El complemento de la selección del tipo y diámetro de válvula es el actuador. El actuador es el dispositivo que proporciona la fuerza necesaria a la válvula para que abra o cierre. La selección consiste, para actuadores de vástago deslizante, en calcular la presión total requerida para operar la válvula a las condiciones de servicio y localizar en los catálogos de los fabricantes el actuador que pueda proporcionarla. No existen restricciones severas en el uso de actuadores, más que los límites de presión y temperatura de las válvulas.

NOMENCLATURA

No se indican las unidades, ya que las ecuaciones cuentan con coeficientes N (ver Tabla 4) que las hacen consistentes.

En las ecuaciones donde no se incluyen las constantes se especifican las unidades.

A_p	diámetro del puerto
A_s	todos los diámetros
C	coeficiente
C_g	coeficiente de flujo para gas.
C_i	coeficiente de apertura máxima
C_v	coeficiente de flujo
C_{vc}	pseudocoficiente de dimensionamiento
C_{vg}	coeficiente de flujo para líquido.
C_{vl}	coeficiente de flujo para gas.
C_{vr}	coeficiente de flujo para dos fases.
D	diámetro nominal de la tubería
d	diámetro nominal de la válvula
F_d	factor de modificación del tipo de válvula
F_p	factor del cociente de presión crítica del líquido
F_k	factor del cociente de calores específicos.
F_{LP}	factor de restablecimiento (afectado por el factor geométrico).
F_m	factor de corrección para flujo en dos fases.
F_p	factor geométrico de la tubería
F_y	factor de flujo crítico
k	cociente de calores específicos
K	coeficiente de caída de presión por velocidad
K_{s1}, K_{s2}	coeficiente de Bernoulli
K_m	factor de restablecimiento de la válvula
K_m	factor de restablecimiento de presión a la apertura máxima

K_v	coeficiente de flujo (usado fuera de Norteamérica)
L	longitud de apertura
M	peso molecular
q	gasto de fluido
Q_g	gasto de gas
Q_l	gasto de líquido
SPL	nivel de presión de sonido
T	temperatura
T_T	apertura total de la válvula
V_r	cociente volumen de gas
W_d	ángulo de rotación
x	cociente de caída de presión, Δ_P/P_1 .
x_T	factor del cociente de caída de presión para válvulas instaladas sin accesorios.
x_{TP}	factor del cociente de caída de presión para válvulas instaladas con accesorios.
Y	factor de expansión.
Z	factor de compresibilidad.
Δ_P	caída de presión real de servicio
Δ_{PT}	caída de presión permisible
ΔSPL_{C_g}	corrección por C_g requerido
ΔSPL_{C_v}	corrección por C_v requerido
ΔSPL_{k_h}	corrección alcanzada a través del uso de tubería de pared gruesa y aislamiento térmico o acústico
$\Delta SPL_{\Delta_P/(P_1 - P_v)}$	corrección por tipo de válvula y caída de presión
$\Delta SPL_{\Delta_P/P_1}$	corrección por tipo de válvula y caída de presión, con P_1 en lb/pg^2 abs.
ΔSPL_{P_2}	corrección por presión de salida, P_2
ΔSPL_k^2	corrección por diámetro y cédula de tubería
$\Delta SPL_{valv. nivel}$	

REFERENCIAS

- 1) ANSI/ISA/IEC.: " Valve Sizing "
IEC. Publications, : Julio 1981.
- 2) Fisher Controls International Inc.
Catalog 10 " Sizing and Selection Data "
Fisher Controls International Inc.: September 1987.
- 3) Instituto Mexicano del Petróleo
" Curso regional de Dimensionamiento y Diseño de Válvulas de Control "
IMP.: México, Oct. de 1988.
- 4) ANSI/FCI 70-2-1976. Fluid Control Institute.
" American National Standard for Control Valve Seat Leakage "
Fluid Control Institute, : April 29, 1982.
- 5) Crane
" Flujo de Fluidos en Válvulas Accesorios y Tuberías "
Mc Graw-Hill Company, : Agosto de 1988.
- 6) Petróleos Mexicanos
" Normas para construcción de Obras "
Sistema de transporte de petróleo por tubería; Norma 3.374.01,
1ª edición. 1978.

A P E N D I C E A

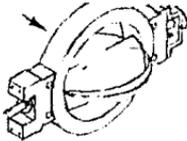


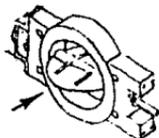
TABLA A-1

TIPO 7600, EJE CLASE 4, DISCO
FISHTAIL, CLASES 125-300
CARACTERISTICA APROXIMADAMENTE
DE IGUAL PORCENTAJE

C	d	Wp									
		10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
C ₁	2 = 14	273	289	300	310	318	272	230	181	181	
	8 = 72	273	289	350	345	315	287	244	191	160	
K ₁	A/S	70	70	70	70	67	60	50	45	43	
	2	113	235	483	900	135	193	261	312	322	
C ₂ (Liquid)	2 1/2	278	648	137	250	383	543	725	878	916	
	3	401	104	181	312	540	855	129	160	178	
	4	913	188	333	565	973	157	245	318	262	
	5	113	307	538	971	157	255	417	567	665	
	6	168	437	785	136	278	387	617	883	1070	
	8	260	648	140	244	400	685	1100	1630	1960	
	10	477	125	218	363	643	1080	1732	2580	3170	
	12	684	178	315	586	930	1600	2590	3880	4880	
	14	813	215	385	692	1170	2050	3130	4810	6030	
	16	108	285	515	933	1530	2640	4240	6770	8430	
	18	136	354	637	1150	1890	3250	5230	8300	10300	
	20	198	445	805	1480	2410	4180	6800	11100	14000	
	24	250	650	1170	2140	3510	6080	9840	15900	20000	
	30	391	1040	1680	3500	5680	9900	16200	26800	34000	
36	557	1480	2700	5080	8780	14400	23500	40500	52000		
42	767	2030	3730	6970	11400	19700	32700	55000	70800		
48	960	2590	4780	9030	16100	25700	43200	73800	96000		
54	1270	3290	6100	11500	18900	32700	54900	94000	122000		
60	1520	4200	7880	15000	24600	42800	72100	126000	165000		
66	1850	5060	9400	17900	28200	50700	85000	148000	194000		
72	2240	6150	11800	22100	36300	63000	107000	188000	248000		
C ₃ (Gas)	2	308	702	145	278	403	525	600	595	595	
	2 1/2	458	1213	247	715	1040	1410	166	1670	1810	
	3	109	312	545	967	1610	2320	2980	3060	3220	
	4	249	562	1000	1750	2900	4270	5650	6080	5550	
	5	308	904	1810	2860	4580	6930	9460	10820	12000	
	6	460	1310	2350	4220	6800	10400	14100	17000	19300	
	8	819	2320	4200	7560	11900	18600	25300	31100	35400	
	10	1300	3750	6550	11900	19300	29300	39700	49300	58500	
	12	1860	5280	9450	17500	27100	43400	58900	76000	88400	
	14	2270	6450	11800	21400	34000	53200	72000	93700	109000	
	16	2990	8520	18000	32300	48200	75700	103000	139000	165000	
	18	3730	10600	22300	39700	59500	93300	128000	168000	194000	
	20	4420	13300	28200	51000	76000	120000	166000	212000	244000	
	24	6820	21400	41000	74000	111000	174000	240000	303000	370000	
30	10700	31200	65800	121000	179000	284000	395000	512000	645000		
36	15100	44200	94800	175000	261000	414000	583000	773000	932000		
42	20600	62500	130000	240000	358000	567000	798000	1050000	1300000		
48	28700	87500	187000	333000	505000	778000	1050000	1410000	1800000		
54	33300	98600	214000	398000	595000	940000	1340000	1790000	2250000		
60	41500	125000	275000	518000	777000	1220000	1700000	2400000	3040000		
66	50400	151000	329000	616000	930000	1450000	2090000	2830000	3610000		
72	61000	184000	405000	784000	1140000	1810000	2600000	3450000	4400000		
C ₄ (Steam)	2	154	351	725	139	201	287	300	287	287	
	2 1/2	239	985	206	367	521	737	845	837	837	
	3	548	158	272	483	805	118	149	153	161	
	4	124	284	503	815	145	213	282	327	327	
	5	154	452	897	143	224	348	473	541	601	
	6	230	653	117	211	340	520	705	852	986	
	8	409	116	210	378	595	931	1280	1550	1770	
	10	650	187	327	594	868	1480	1980	2480	2820	
	12	937	264	477	876	1380	2170	2840	3600	4270	
	14	113	327	577	1070	1690	2660	3600	4680	5450	
	16	149	428	800	1610	2410	3780	5170	6460	6740	
	18	186	530	1110	1980	2970	4680	6380	7920	8210	
	20	271	685	1410	2450	3850	6000	8300	10400	11200	
	24	341	970	2050	3700	5930	8720	12000	16100	18000	
30	534	1560	3290	6050	8950	14200	19700	25900	27200		
36	753	2210	4730	8780	13000	20700	28800	38600	41900		
42	1040	3040	6570	12000	17800	28800	38900	52500	56500		
48	1310	3870	8370	15800	25300	36900	52500	70500	76700		
54	1680	4920	10700	19900	29700	47000	67000	89500	97500		
60	2070	6370	13700	25300	36800	61000	86000	120000	132000		
66	2570	7560	16400	30800	44500	73000	104000	141000	160000		
72	3050	9700	20200	38400	57200	90500	130000	177000	197000		

NOTA 1

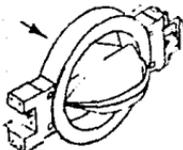
Las notas se explican al final de este Apéndice



**TABLA A-2 TIPO 7600, EJE CLASE 5, DISCO
 CONVENCIONAL, CLASES 125-300
 CARACTERISTICA APROXIMADAMENTE
 DE IGUAL PORCENTAJE**

C	d	Wd								
		10°	20°	30°	40°	60°	60°	70°	80°	90°
C ₁	3-5	24.7	28.9	29.3	29.4	27.4	25.2	20.2	17.4	17.2
	6-72	25.0	25.1	26.1	26.4	26.8	24.5	20.8	14.9	14.3
K _p	AS	60	64	68	70	64	55	45	35	30
C ₂ (Liquid)	3	2.8	8.4	17.8	31.0	53.5	88.3	135	183	172
	4	5.6	16.8	34.7	61.2	105	170	268	373	340
	5	11.3	33.7	70.3	124	213	344	539	854	889
	6	17.7	43.7	102	191	355	602	975	1260	1370
	8	30.9	76.0	178	332	618	1040	1520	2190	2380
	10	50.3	123	290	542	1010	1700	2480	3560	3870
	12	81.0	199	467	872	1622	2740	3990	5730	6230
	14	100	246	577	1080	2000	3290	4930	7080	7700
	16	137	337	791	1480	2740	4400	6750	9710	10500
	18	184	464	949	1770	3290	5370	8100	11600	12600
	20	211	520	1220	2270	4230	7150	10400	14900	16200
	24	318	777	1820	3400	6320	10700	15500	22300	24300
	28	430	1270	2980	5560	10300	17400	25400	36500	39700
	36	784	1930	4520	8440	15700	26500	38800	55500	60300
	42	1070	2640	6190	11600	21500	36300	52800	78000	82800
	48	1470	3620	8500	15800	29400	49800	72500	104000	113000
	54	1880	4580	10700	20000	37200	63000	91500	132000	143000
	60	2390	5810	13600	25400	47200	79900	116000	167000	181000
66	2880	7090	16800	31000	57600	97500	142000	204000	222000	
72	3410	8650	20000	37400	69500	118000	171000	246000	267000	
C ₃ (Gas)	3	70.4	244	517	930	1470	2170	3250	4850	2970
	4	138	482	1020	1830	2900	4290	6390	9630	5870
	5	281	976	2070	3720	5870	8680	10900	11400	11900
	6	444	1100	2880	5080	8540	14700	18200	19700	19600
	8	772	1810	4650	8780	14600	25600	31600	32600	34300
	10	1260	3110	7580	14300	27000	41700	51500	53000	55400
	12	2020	5090	12700	24000	43400	67200	82200	85400	82100
	14	2950	8180	15100	28400	53600	81000	102000	105000	110000
	16	3430	8470	23800	39000	73500	114000	140000	144000	151000
	18	4110	10200	24800	46800	88200	138000	168000	173000	181000
	20	5280	13000	31800	60100	113000	178000	218000	223000	232000
	24	7800	19500	47600	89800	169000	282000	323000	333000	347000
	28	12900	31900	77700	147000	277000	428000	528000	544000	568000
	36	19800	48400	118000	223000	420000	660000	802000	828000	860000
	42	26800	66300	162000	305000	576000	890000	1100000	1130000	1180000
	48	36800	91000	222000	419000	790000	1220000	1510000	1650000	1620000
	54	48500	115000	280000	529000	998000	1540000	1900000	1980000	2050000
	60	59000	148000	359000	671000	1280000	1960000	2410000	2490000	2600000
66	72000	178000	434000	819000	1540000	2390000	3040000	3040000	3170000	
72	86900	215000	523000	988000	1860000	2880000	3560000	3680000	3820000	
C ₄ (Steam)	3	3.5	12.2	25.8	46.6	73.5	108	136	142	148
	4	6.8	24.1	51.0	91.9	145	214	268	281	293
	5	14.0	48.9	103	188	293	434	545	569	594
	6	22.2	55.0	133	262	477	717	910	937	978
	8	36.8	95.5	237	438	829	1280	1580	1630	1700
	10	62.9	155	378	716	1360	2090	2670	2650	2770
	12	101	250	610	1150	2170	3360	4140	4210	4450
	14	125	309	753	1420	2680	4150	5120	5270	5500
	16	171	424	1030	1950	3680	5690	7020	7230	7540
	18	205	508	1240	2340	4420	6820	8410	8610	9050
	20	264	653	1590	3000	5670	8760	10800	11100	11600
	24	394	978	2380	4490	8480	13100	16200	16800	17400
	28	545	1590	3890	7330	13800	21400	26400	27200	28400
	36	880	2490	6000	11100	20500	32500	40100	41300	43000
	42	1340	3320	8080	15300	28800	44500	54900	56600	59000
	48	1840	4550	11100	20900	39500	61100	75300	77600	81000
	54	2330	5760	14000	26500	50000	77200	95200	98100	102000
	60	2850	7360	17800	33500	63400	97000	121000	124000	130000
66	3600	8910	21700	41000	77400	119000	147000	152000	158000	
72	4340	10700	26200	49400	93300	144000	178000	183000	191000	

NOTA 1



**TABLA A-3 TIPO 7600, 'EJE CLASE 5, DISCO
 FISHTAIL, CLASES 125-300
 CARACTERISTICA APROXIMADAMENTE
 DE IGUAL PORCENTAJE**

C	d	Wd									
		10"	30"	50"	60"	80"	70"	80"	90"	10"	10"
C ₁	3-24	27.3	29.9	30.0	31.0	29.8	27.3	23.0	19.1	18.1	
	30-72	27.3	29.9	25.0	34.5	31.5	28.7	24.4	19.1	16.0	
K ₁	AS	70	70	70	70	67	60	50	45	43	
	J	4.07	9.52	20.4	34.0	55.8	78.8	108	130	136	
C ₂ (Liquid)	4	7.4	17.8	32.7	58.1	99.3	143	204	246	264	
	5	11.4	29.4	51.8	89.5	142	212	288	320	370	
	6	16.8	42.5	77.5	132	224	308	408	460	520	
	8	29.9	78.7	137	238	403	649	1030	1390	1610	
	10	48.4	118	215	388	620	1010	1640	2260	2650	
	12	68.3	175	314	556	920	1580	2500	3780	4580	
	14	82.2	217	379	680	1120	1900	3080	4650	5670	
	15	107	281	509	907	1510	2580	4140	6460	7960	
	18	135	350	628	1120	1850	3250	5060	7670	9340	
	20	171	441	798	1420	2320	3990	6410	10000	12200	
	24	252	653	1170	2100	3430	5860	9550	15100	18600	
	30	389	1030	1870	3360	5540	9580	15500	24900	31100	
	36	568	1530	2740	5080	8300	14400	23500	38900	49400	
	42	774	2080	3720	6930	11300	18600	32200	52700	67200	
	48	890	2840	4910	9150	14900	26000	43100	73200	94400	
54	1250	3400	6190	11700	19100	33100	54800	92700	119000		
60	1510	4070	7550	14200	23200	40400	67700	118000	151000		
65	1780	5000	9070	17400	28500	49200	82500	142000	185000		
72	2170	5920	11000	21200	34200	60500	113000	175000	229000		
C ₃ (Gas)	3	114	285	817	1050	1680	2140	2480	2480	2480	
	4	202	532	980	1800	2860	3890	4890	4700	4700	
	5	311	880	1550	2780	4530	6580	8930	9550	10300	
	6	458	1270	2320	4090	6670	9960	13500	15300	16900	
	8	816	2290	4110	7320	12000	17600	23700	26600	29200	
	10	1270	3530	6450	11300	18500	27500	37700	43200	48000	
	12	1860	5230	9420	17200	27400	42400	57500	71700	82500	
	14	2740	8340	14400	24100	34000	51800	70400	89100	102000	
	18	2920	8400	15300	28100	45100	70200	95300	123000	142000	
	20	3680	10500	18800	34700	55100	81200	118000	146000	169000	
24	4870	13200	23900	44000	69300	108000	148000	191000	222000		
24	6880	19500	35200	65300	112000	180000	250000	328000	370000		
30	10800	30700	65300	118000	174000	275000	378000	478000	498000		
36	15500	45700	98100	175000	282000	413000	575000	744000	791000		
42	21100	67400	132000	238000	358000	548000	786000	1020000	1080000		
48	27000	79000	172000	319000	470000	749000	1060000	1400000	1510000		
54	34100	102000	216000	401000	601000	952000	1340000	1770000	1910000		
60	41200	122000	264000	490000	733000	1180000	1600000	2220000	2410000		
66	48100	149000	327000	600000	899000	1410000	2010000	2720000	2960000		
72	59400	178000	385000	728000	1080000	1720000	2780000	3340000	3550000		
C ₄ (Steam)	4	102	248	470	800	148	232	324	432	514	
	5	155	440	778	139	227	329	447	478	517	
	6	229	615	1205	205	334	488	625	765	847	
	8	438	115	208	386	683	1190	1830	2330	2480	
	10	635	178	323	568	925	1390	1890	2160	2600	
	12	933	281	471	871	1370	2120	2870	3590	4120	
	14	112	317	1050	1618	1870	2590	4450	5310	6110	
	16	146	420	764	1400	2250	3510	4780	6170	7120	
	18	184	524	840	1740	2750	4590	5870	7320	8490	
	20	234	660	1190	2200	3460	5420	7400	8900	11100	
	24	344	877	1780	3260	5810	8110	11000	14400	16900	
	30	532	1530	3280	5800	8720	13800	18800	23800	24900	
	36	775	2280	4800	8770	13100	20800	28700	37200	39600	
	42	1060	3120	6600	11800	17800	28200	39200	50800	63900	
	48	1350	3950	8600	15800	23800	37400	52600	70200	75500	
54	1710	5090	10800	20100	30000	47800	67000	88500	96500		
60	2080	6090	13200	24500	36800	63100	82600	111000	121000		
66	2400	7470	18400	30000	44900	70700	101000	136000	148000		
72	2970	8920	19200	36600	64100	84200	138000	187000	177000		

NOTA 1

TABLA A-4 MULTIPLICADORES DE COEFICIENTE DE FLUJO PARA VALVULAS DE MARIPOSA

TABLA 1 MULTIPLICADORES DEBIDO A REDUCTORES

DISCO CONVENCIONAL

D/d	W	C ₁	d															
			1-1/2	2	2-1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24	
1.5 to 1	60	C ₁	.95	.96	.95	.94	.92	.91	.90	.89	.89	.88	.88	.88	.88	.87	.87	
		C ₂ & C ₃	.97	.97	.97	.96	.96	.95	.94	.94	.94	.94	.94	.94	.94	.93	.93	
		C ₄	1.02	1.02	1.02	1.02	1.04	1.04	1.04	1.04	1.06	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	
1.5 to 1	90	C ₁	.83	.83	.82	.80	.77	.74	.70	.64	.64	.64	.64	.63	.63	.63		
		C ₂ & C ₃	.95	.95	.95	.93	.92	.91	.90	.90	.90	.90	.90	.89	.89	.89	.89	
		C ₄	1.14	1.14	1.16	1.16	1.19	1.23	1.29	1.36	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	
2 to 1	60	C ₁	.92	.92	.91	.90	.89	.88	.87	.85	.84	.84	.83	.83	.82	.82		
		C ₂ & C ₃	.96	.96	.96	.95	.94	.94	.93	.92	.92	.92	.92	.92	.92	.92	.92	
		C ₄	1.04	1.04	1.06	1.06	1.06	1.07	1.07	1.08	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	
2 to 1	90	C ₁	.76	.76	.74	.72	.69	.65	.62	.56	.56	.55	.54	.54	.54	.53		
		C ₂ & C ₃	.93	.93	.92	.92	.90	.88	.87	.87	.87	.87	.87	.87	.87	.87	.87	
		C ₄	1.22	1.22	1.24	1.28	1.30	1.35	1.40	1.50	1.56	1.56	1.56	1.61	1.61	1.61	1.64	

DISCO FISHTAIL

D/d	W	C ₁	d																							
			1-1/2	2	2-1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24									
1.5 to 1	60	C ₁	.97	.97	.97	.97	.97	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96										
		C ₂ & C ₃	.98	.98	.98	.98	.97	.97	.97	.97	.97	.97	.97	.97	.97	.97										
		C ₄	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01										
1.5 to 1	90	C ₁	.87	.87	.87	.84	.81	.79	.76	.72	.72	.71	.70	.69	.68	.67										
		C ₂ & C ₃	.96	.96	.95	.94	.94	.92	.92	.92	.91	.91	.91	.91	.91	.90										
		C ₄	1.10	1.10	1.09	1.12	1.14	1.16	1.21	1.26	1.26	1.28	1.30	1.32	1.34	1.36										
2 to 1	60	C ₁	.96	.96	.96	.95	.95	.95	.94	.94	.94	.94	.94	.94	.94	.94										
		C ₂ & C ₃	.97	.97	.97	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96	.96										
		C ₄	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02										
2 to 1	90	C ₁	.82	.82	.80	.77	.73	.70	.66	.65	.63	.62	.61	.60	.59	.58										
		C ₂ & C ₃	.94	.94	.94	.93	.91	.90	.89	.88	.88	.88	.88	.88	.88	.88										
		C ₄	1.15	1.15	1.18	1.21	1.25	1.29	1.31	1.35	1.40	1.42	1.44	1.47	1.48	1.52										

TABLA 2 MULTIPLICADORES DEBIDO A LA CLASE

Clase	d															
	1-1/2	2	2-1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24	
400	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
600	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
900	.84	.82	.81	.81	.83	.80	.82	.86	.87	.86	.82	.81	.81	.81	.78	
1500	.84	.86	.81	.84	.80	.78	.80	.76	.76	.76	.74	.71	.70	.70	.71	
2500	.56	.56	.56	.56	.51	.52	.52	.52	.52	.52	.52	.52	.52	.52	.52	

NOTA 2

MULTIPLICADORES DE COEFICIENTES DE FLUJO PARA VALVULAS DE MARIPOSA

A) Correcciones para la capacidad, debidas a reducciones para todos los tipos de válvulas de mariposa.

Para encontrar el coeficiente de flujo para la combinación de válvula y reducción, multiplicar el coeficiente de flujo de la válvula de las tablas por el valor dado en la Tabla A-4.1. Por ejemplo, encontrar el coeficiente de flujo (C_v) para una válvula de mariposa tipo 7600, 6 pg, disco convencional, clase 300, a 90° de apertura en una tubería de 12 pg.

1) De la Tabla de coeficientes de flujo, encontrar un $C_v=1750$

2) De la Tabla A-4.1 encontrar el valor de 0.62.

$$C_v = 0.62 \times 1750 = 1085$$

B) Correcciones para clases mayores que 300.

Para encontrar el coeficiente de flujo de válvulas clase 400 o mayor, multiplicar el coeficiente de flujo (C_v) por el valor encontrado en la tabla A-4.2. Por ejemplo, encontrar el coeficiente de flujo, para una válvula Tipo 7600, 12 pg, clase 2500 a 90° de apertura en una tubería de 12 pg.

1) De las tablas de coeficientes de flujo encontrar un

$$C_v=7240.$$

2) De la tabla A-4.2 encontrar el valor 0.52.

$$C_v = 0.52 \times 7240 = 3765$$

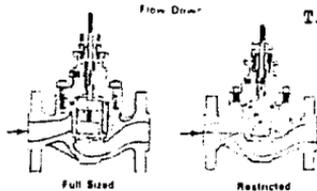
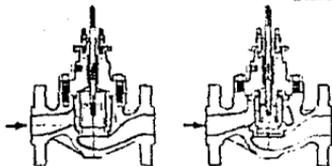


TABLA A5 DISEÑO ED, CLASES 125-600
CAJA DE APERTURA RAPIDA

C	d	AD	AT	T1	T										Km																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
					10	20	30	40	50	60	70	80	90	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
C ₁ (Liquid)	1 & 1/4	1.5 16	14.3	3.4	4.86	9.39	13.4	18.9	26.8	32.0	36.8	41.3	45.7	49.9	54.1	58.3	62.5	66.7	70.9	75.1	79.3	83.5	87.7	91.9	96.1	100.3	104.5	108.7	112.9	117.1	121.3	125.5	129.7	133.9	138.1	142.3	146.5	150.7	154.9	159.1	163.3	167.5	171.7	175.9	180.1	184.3	188.5	192.7	196.9	201.1	205.3	209.5	213.7	217.9	222.1	226.3	230.5	234.7	238.9	243.1	247.3	251.5	255.7	260.0	264.2	268.4	272.6	276.8	281.0	285.2	289.4	293.6	297.8	302.0	306.2	310.4	314.6	318.8	323.0	327.2	331.4	335.6	339.8	344.0	348.2	352.4	356.6	360.8	365.0	369.2	373.4	377.6	381.8	386.0	390.2	394.4	398.6	402.8	407.0	411.2	415.4	419.6	423.8	428.0	432.2	436.4	440.6	444.8	449.0	453.2	457.4	461.6	465.8	470.0	474.2	478.4	482.6	486.8	491.0	495.2	499.4	503.6	507.8	512.0	516.2	520.4	524.6	528.8	533.0	537.2	541.4	545.6	549.8	554.0	558.2	562.4	566.6	570.8	575.0	579.2	583.4	587.6	591.8	596.0	600.2	604.4	608.6	612.8	617.0	621.2	625.4	629.6	633.8	638.0	642.2	646.4	650.6	654.8	659.0	663.2	667.4	671.6	675.8	680.0	684.2	688.4	692.6	696.8	701.0	705.2	709.4	713.6	717.8	722.0	726.2	730.4	734.6	738.8	743.0	747.2	751.4	755.6	759.8	764.0	768.2	772.4	776.6	780.8	785.0	789.2	793.4	797.6	801.8	806.0	810.2	814.4	818.6	822.8	827.0	831.2	835.4	839.6	843.8	848.0	852.2	856.4	860.6	864.8	869.0	873.2	877.4	881.6	885.8	890.0	894.2	898.4	902.6	906.8	911.0	915.2	919.4	923.6	927.8	932.0	936.2	940.4	944.6	948.8	953.0	957.2	961.4	965.6	969.8	974.0	978.2	982.4	986.6	990.8	995.0	999.2	1003.4	1007.6	1011.8	1016.0	1020.2	1024.4	1028.6	1032.8	1037.0	1041.2	1045.4	1049.6	1053.8	1058.0	1062.2	1066.4	1070.6	1074.8	1079.0	1083.2	1087.4	1091.6	1095.8	1100.0	1104.2	1108.4	1112.6	1116.8	1121.0	1125.2	1129.4	1133.6	1137.8	1142.0	1146.2	1150.4	1154.6	1158.8	1163.0	1167.2	1171.4	1175.6	1179.8	1184.0	1188.2	1192.4	1196.6	1200.8	1205.0	1209.2	1213.4	1217.6	1221.8	1226.0	1230.2	1234.4	1238.6	1242.8	1247.0	1251.2	1255.4	1259.6	1263.8	1268.0	1272.2	1276.4	1280.6	1284.8	1289.0	1293.2	1297.4	1301.6	1305.8	1310.0	1314.2	1318.4	1322.6	1326.8	1331.0	1335.2	1339.4	1343.6	1347.8	1352.0	1356.2	1360.4	1364.6	1368.8	1373.0	1377.2	1381.4	1385.6	1389.8	1394.0	1398.2	1402.4	1406.6	1410.8	1415.0	1419.2	1423.4	1427.6	1431.8	1436.0	1440.2	1444.4	1448.6	1452.8	1457.0	1461.2	1465.4	1469.6	1473.8	1478.0	1482.2	1486.4	1490.6	1494.8	1499.0	1503.2	1507.4	1511.6	1515.8	1520.0	1524.2	1528.4	1532.6	1536.8	1541.0	1545.2	1549.4	1553.6	1557.8	1562.0	1566.2	1570.4	1574.6	1578.8	1583.0	1587.2	1591.4	1595.6	1600.0	1604.2	1608.4	1612.6	1616.8	1621.0	1625.2	1629.4	1633.6	1637.8	1642.0	1646.2	1650.4	1654.6	1658.8	1663.0	1667.2	1671.4	1675.6	1679.8	1684.0	1688.2	1692.4	1696.6	1700.8	1705.0	1709.2	1713.4	1717.6	1721.8	1726.0	1730.2	1734.4	1738.6	1742.8	1747.0	1751.2	1755.4	1759.6	1763.8	1768.0	1772.2	1776.4	1780.6	1784.8	1789.0	1793.2	1797.4	1801.6	1805.8	1810.0	1814.2	1818.4	1822.6	1826.8	1831.0	1835.2	1839.4	1843.6	1847.8	1852.0	1856.2	1860.4	1864.6	1868.8	1873.0	1877.2	1881.4	1885.6	1889.8	1894.0	1898.2	1902.4	1906.6	1910.8	1915.0	1919.2	1923.4	1927.6	1931.8	1936.0	1940.2	1944.4	1948.6	1952.8	1957.0	1961.2	1965.4	1969.6	1973.8	1978.0	1982.2	1986.4	1990.6	1994.8	1999.0	2003.2	2007.4	2011.6	2015.8	2020.0	2024.2	2028.4	2032.6	2036.8	2041.0	2045.2	2049.4	2053.6	2057.8	2062.0	2066.2	2070.4	2074.6	2078.8	2083.0	2087.2	2091.4	2095.6	2100.0	2104.2	2108.4	2112.6	2116.8	2121.0	2125.2	2129.4	2133.6	2137.8	2142.0	2146.2	2150.4	2154.6	2158.8	2163.0	2167.2	2171.4	2175.6	2179.8	2184.0	2188.2	2192.4	2196.6	2200.8	2205.0	2209.2	2213.4	2217.6	2221.8	2226.0	2230.2	2234.4	2238.6	2242.8	2247.0	2251.2	2255.4	2259.6	2263.8	2268.0	2272.2	2276.4	2280.6	2284.8	2289.0	2293.2	2297.4	2301.6	2305.8	2310.0	2314.2	2318.4	2322.6	2326.8	2331.0	2335.2	2339.4	2343.6	2347.8	2352.0	2356.2	2360.4	2364.6	2368.8	2373.0	2377.2	2381.4	2385.6	2389.8	2394.0	2398.2	2402.4	2406.6	2410.8	2415.0	2419.2	2423.4	2427.6	2431.8	2436.0	2440.2	2444.4	2448.6	2452.8	2457.0	2461.2	2465.4	2469.6	2473.8	2478.0	2482.2	2486.4	2490.6	2494.8	2499.0	2503.2	2507.4	2511.6	2515.8	2520.0	2524.2	2528.4	2532.6	2536.8	2541.0	2545.2	2549.4	2553.6	2557.8	2562.0	2566.2	2570.4	2574.6	2578.8	2583.0	2587.2	2591.4	2595.6	2600.0	2604.2	2608.4	2612.6	2616.8	2621.0	2625.2	2629.4	2633.6	2637.8	2642.0	2646.2	2650.4	2654.6	2658.8	2663.0	2667.2	2671.4	2675.6	2679.8	2684.0	2688.2	2692.4	2696.6	2700.8	2705.0	2709.2	2713.4	2717.6	2721.8	2726.0	2730.2	2734.4	2738.6	2742.8	2747.0	2751.2	2755.4	2759.6	2763.8	2768.0	2772.2	2776.4	2780.6	2784.8	2789.0	2793.2	2797.4	2801.6	2805.8	2810.0	2814.2	2818.4	2822.6	2826.8	2831.0	2835.2	2839.4	2843.6	2847.8	2852.0	2856.2	2860.4	2864.6	2868.8	2873.0	2877.2	2881.4	2885.6	2889.8	2894.0	2898.2	2902.4	2906.6	2910.8	2915.0	2919.2	2923.4	2927.6	2931.8	2936.0	2940.2	2944.4	2948.6	2952.8	2957.0	2961.2	2965.4	2969.6	2973.8	2978.0	2982.2	2986.4	2990.6	2994.8	2999.0	3003.2	3007.4	3011.6	3015.8	3020.0	3024.2	3028.4	3032.6	3036.8	3041.0	3045.2	3049.4	3053.6	3057.8	3062.0	3066.2	3070.4	3074.6	3078.8	3083.0	3087.2	3091.4	3095.6	3100.0	3104.2	3108.4	3112.6	3116.8	3121.0	3125.2	3129.4	3133.6	3137.8	3142.0	3146.2	3150.4	3154.6	3158.8	3163.0	3167.2	3171.4	3175.6	3179.8	3184.0	3188.2	3192.4	3196.6	3200.8	3205.0	3209.2	3213.4	3217.6	3221.8	3226.0	3230.2	3234.4	3238.6	3242.8	3247.0	3251.2	3255.4	3259.6	3263.8	3268.0	3272.2	3276.4	3280.6	3284.8	3289.0	3293.2	3297.4	3301.6	3305.8	3310.0	3314.2	3318.4	3322.6	3326.8	3331.0	3335.2	3339.4	3343.6	3347.8	3352.0	3356.2	3360.4	3364.6	3368.8	3373.0	3377.2	3381.4	3385.6	3389.8	3394.0	3398.2	3402.4	3406.6	3410.8	3415.0	3419.2	3423.4	3427.6	3431.8	3436.0	3440.2	3444.4	3448.6	3452.8	3457.0	3461.2	3465.4	3469.6	3473.8	3478.0	3482.2	3486.4	3490.6	3494.8	3499.0	3503.2	3507.4	3511.6	3515.8	3520.0	3524.2	3528.4	3532.6	3536.8	3541.0	3545.2	3549.4	3553.6	3557.8	3562.0	3566.2	3570.4	3574.6	3578.8	3583.0	3587.2	3591.4	3595.6	3600.0	3604.2	3608.4	3612.6	3616.8	3621.0	3625.2	3629.4	3633.6	3637.8	3642.0	3646.2	3650.4	3654.6	3658.8	3663.0	3667.2	3671.4	3675.6	3679.8	3684.0	3688.2	3692.4	3696.6	3700.8	3705.0	3709.2	3713.4	3717.6	3721.8	3726.0	3730.2	3734.4	3738.6	3742.8	3747.0	3751.2	3755.4	3759.6	3763.8	3768.0	3772.2	3776.4	3780.6	3784.8	3789.0	3793.2	3797.4	3801.6	3805.8	3810.0	3814.2	3818.4	3822.6	3826.8	3831.0	3835.2	3839.4	3843.6	3847.8	3852.0	3856.2	3860.4	3864.6	3868.8	3873.0	3877.2	3881.4	3885.6	3889.8	3894.0	3898.2	3902.4	3906.6	3910.8	3915.0	3919.2	3923.4	3927.6	3931.8	3936.0	3940.2	3944.4	3948.6	3952.8	3957.0	3961.2	3965.4	3969.6	3973.8	3978.0	3982.2	3986.4	3990.6	3994.8	3999.0	4003.2	4007.4	4011.6	4015.8	4020.0	4024.2	4028.4	4032.6	4036.8	4041.0	4045.2	4049.4	4053.6	4057.8	4062.0	4066.2	4070.4	4074.6	4078.8	4083.0	4087.2	4091.4	4095.6	4100.0	4104.2	4108.4	4112.6	4116.8	4121.0	4125.2	4129.4	4133.6	4137.8	4142.0	4146.2	4150.4	4154.6	4158.8	4163.0	4167.2	4171.4	4175.6	4179.8	4184.0	4188.2	4192.4	4196.6	4200.8	4205.0	4209.2	4213.4	4217.6	4221.8	4226.0	4230.2	4234.4	4238.6	4242.8	4247.0	4251.2	4255.4	4259.6	4263.8	4268.0	4272.2	42

CAJA LINEAL



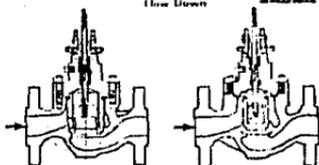
C	d	Ap	TI	% T										Km
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
C _v (Liquid)	1 1/4	1 5/16	3/4	3.21	5.50	8.18	10.9	13.2	16.0	16.9	18.6	19.9	20.6	21
	1-1/2	1-7/8	3/4	4.23	7.84	11.8	15.8	20.4	25.3	30.3	34.7	37.2	39.2	39
	2	2 5/16	1-1/8	7.17	16.0	24.9	33.4	42.1	51.8	62.0	68.1	70.6	72.9	59
	2-1/2	2-7/8	1-1/2	9.34	21.6	35.5	49.5	62.7	74.1	83.6	93.5	102	108	66
	3	3 7/16	1-1/2	14.5	32.9	52.1	70.4	88.5	105	118	132	142	148	68
	4	4-3/8	2	23.3	50.3	78.1	105	127	152	181	203	223	236	67
	8	7	2	46.3	101	171	228	278	327	367	402	420	433	71
	8	8	2	60.2	129	206	285	363	444	526	581	640	688	78
	8	8	3	91.4	207	325	440	550	639	711	760	795	846	75
	1-1/2	1 5/16	3/4	2.92	5.70	9.05	12.5	15.6	18.5	21.1	23.9	26.8	29.2	80
	2	1 5/16	3/4	3.53	6.28	9.92	13.3	16.5	19.7	22.7	25.6	28.3	33.3	75
	2-1/2	1-7/8	3/4	4.10	8.09	12.3	16.7	21.1	26.8	33.7	41.3	49.2	57.0	71
3	2 5/16	1-1/8	6.08	16.9	26.7	37.5	49.0	61.4	73.8	85.3	94.7	102	72	
4	2-7/8	1-1/2	9.77	22.8	37.2	51.8	65.7	77.5	87.5	97.9	107	113	71	
8	4-3/8	2	18.7	38.6	65.4	93.7	123	155	194	244	290	322	77	
C _v (Gas)	1 1/4	1 5/16	3/4	74.9	150	230	311	385	457	528	590	631	657	31.9
	1-1/2	1-7/8	3/4	137	264	411	585	701	864	1020	1150	1230	1270	32.4
	2	2 5/16	1-1/8	252	543	850	1170	1500	1850	2050	2210	2280	2330	32.0
	2-1/2	2-7/8	1-1/2	308	702	1140	1620	2060	2490	2830	3100	3310	3460	32.0
	3	3 7/16	1-1/2	475	1100	1740	2390	3030	3560	3910	4250	4510	4660	31.5
	4	4-3/8	2	715	1700	2650	3620	4440	5290	6090	7090	7630	7830	33.2
	8	7	2	1500	3650	5900	8060	10,000	11,700	13,000	14,600	14,800	14,900	34.4
	8	8	2	2020	4380	6880	9260	12,000	14,000	16,100	20,800	23,700	25,200	36.8
	8	8	3	2950	6540	10,100	15,300	19,500	22,900	25,800	27,800	28,200	30,400	35.9
	1-1/2	1 5/16	3/4	87.0	184	288	398	503	604	710	810	900	1000	34.0
	2	1 5/16	3/4	98.0	195	312	428	559	653	769	892	1020	1110	33.0
	2-1/2	1-7/8	3/4	134	260	407	554	705	893	1110	1350	1510	1680	32.8
3	2 5/16	1-1/8	248	530	809	1130	1610	2030	2460	2900	3250	3490	34.2	
4	2-7/8	1-1/2	378	857	1390	1970	2570	3040	3450	3790	4040	4220	37.4	
8	4-3/8	2	583	1290	2153	3100	4060	5070	6380	7910	9600	10,800	33.6	
C _v (Steam)	1 1/4	1 5/16	3/4	3.75	7.50	11.5	15.6	19.7	22.9	26.4	29.5	31.6	32.9	31.9
	1-1/2	1-7/8	3/4	6.85	13.2	20.6	28.3	35.1	43.2	51.0	57.5	61.5	63.5	32.4
	2	2 5/16	1-1/8	12.6	27.2	42.5	58.5	75.0	90.0	103	111	114	117	32.0
	2-1/2	2-7/8	1-1/2	15.4	35.1	57.0	81.0	103	125	142	155	168	173	32.0
	3	3 7/16	1-1/2	23.8	55.0	87.0	120	152	178	199	215	228	233	31.5
	4	4-3/8	2	38.8	85.0	133	180	222	275	313	355	381	392	33.2
	8	7	2	75.0	163	255	347	440	535	650	700	730	745	34.4
	8	8	2	101	219	324	480	600	750	865	1000	1100	1150	146
	8	8	3	148	327	525	760	975	1150	1290	1390	1460	1520	25.9
	1-1/2	1 5/16	3/4	4.85	9.70	14.4	19.8	25.2	30.2	35.5	40.5	46.0	50.0	34.2
	2	1 5/16	3/4	4.90	9.75	16.6	21.4	27.0	32.7	38.5	44.8	51.0	56.0	33.8
	2-1/2	1-7/8	3/4	6.70	13.0	20.4	27.7	35.3	44.7	55.6	61.5	68.5	73.0	32.8
3	2 5/16	1-1/8	12.4	26.8	43.6	61.5	80.5	101	123	145	163	175	34.2	
4	2-7/8	1-1/2	18.8	42.9	69.5	98.5	129	152	173	190	202	211	27.1	
8	4-3/8	2	29.2	64.5	108	155	203	254	319	396	480	540	33.6	

NOTA 4, 5, 6

Flow Down

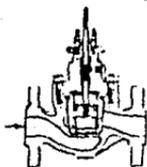
TABLA A7 DISEÑO RD, CLASES 125-600

CAJA DE IGUAL PORCENTAJE



C	d	A _D	T ₁	% T										Km
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
C ₁ (Liquid)	1 & 1-1/4	1.5/1.6	3/4	793	154	230	288	431	576	783	10.8	14.1	17.2	21
	1-1/2	1-7/8	3/4	1.52	263	387	541	745	11.7	17.4	24.5	30.8	35.8	70
	2	2.5/1.6	1-1/8	1.60	293	488	688	10.8	16.8	26.4	37.3	50.7	68.7	72
	2-1/2	2-7/8	1-1/2	3.43	7.13	10.6	15.1	22.4	33.7	48.2	71.1	89.5	99.4	71
	3	3-7/16	1-1/2	4.32	7.53	10.9	17.1	27.2	43.8	68.0	87.0	120	138	68
	4	4-3/8	2	5.85	11.8	18.3	30.2	49.7	79.7	125	171	205	224	68
	6	7	2	12.9	25.8	43.3	87.4	104	162	239	318	368	394	73
	8	8	2	18.5	38.0	58.4	86.7	130	189	268	371	476	567	72
	8	8	3	27.0	58.1	105	188	307	478	605	895	781	816	74
	1-1/2	1.5-1/16	3/4	1.12	88	232	310	437	617	801	13.1	18.2	23.1	83
	2	1.3-1/16	3/4	823	142	209	284	411	683	858	12.8	18.5	24.3	77
	2-1/2	1-7/8	3/4	1.57	287	382	544	784	11.8	18.2	28.7	28.4	43.8	78
3	2.5-1/16	1-1/8	1.78	3.11	4.77	7.07	10.7	17.0	27.5	41.8	68.0	70.7	75	
4	2-7/8	1-1/2	3.82	7.88	11.4	18.9	25.5	38.2	60.8	85.7	105	112	79	
6	4-3/8	2	5.40	10.1	15.8	26.7	45.2	71.2	111	169	232	274	78	
C ₂ (Gas)	1 & 1-1/4	1.5/1.6	3/4	31.2	48.3	67.4	94.4	138	191	270	380	483	582	32.7
	1-1/2	1-7/8	3/4	53.7	90.2	121	183	256	362	576	811	1020	1180	33.0
	2	2.5/1.6	1-1/8	80.4	107	164	238	358	546	851	1280	1880	1990	33.2
	2-1/2	2-7/8	1-1/2	125	239	359	497	727	1090	1800	3320	3910	3230	32.5
	3	3-7/16	1-1/2	152	283	380	545	854	1350	2150	3230	3930	4470	32.9
	4	4-3/8	2	200	374	587	870	1580	2520	4100	5890	7040	7580	32.8
	6	7	2	428	851	1430	2270	3480	5500	8200	10900	13000	13900	35.3
	8	8	2	631	1200	1810	2860	3990	6190	8300	11800	15600	19300	34.0
	8	8	3	887	1880	3350	6880	9950	15000	20800	28000	27300	28400	35.4
	1-1/2	1.5-1/16	3/4	40.8	58.0	80.4	104	145	208	294	419	587	773	32.4
	2	1.3-1/16	3/4	32.8	48.0	72.0	98.8	139	197	290	410	563	783	32.2
	2-1/2	1-7/8	3/4	86.2	88.4	129	178	248	377	577	851	1180	1480	33.7
3	2.5-1/16	1-1/8	68.0	114	171	248	387	648	813	1300	1840	2370	33.8	
4	2-7/8	1-1/2	132	248	390	653	818	1210	1880	2750	3600	4040	36.0	
6	4-3/8	2	219	389	642	864	1430	2230	3480	5280	7380	8140	33.3	
C ₃ (Steam)	1 & 1-1/4	1.5/1.6	3/4	1.58	2.42	3.37	4.72	6.90	9.55	13.5	19.0	24.2	28.1	32.7
	1-1/2	1-7/8	3/4	2.89	4.51	6.55	9.15	12.6	18.1	28.9	40.8	51.0	59.0	33.0
	2	2.5/1.6	1-1/8	3.02	5.35	8.20	11.9	17.9	27.3	42.6	64.0	84.0	99.0	33.2
	2-1/2	2-7/8	1-1/2	6.05	12.0	18.0	24.9	38.4	54.5	80.0	118	148	182	32.5
	3	3-7/16	1-1/2	7.60	12.7	18.0	27.3	42.7	67.5	108	162	197	224	32.9
	4	4-3/8	2	10.0	18.7	29.4	48.5	78.0	130	205	295	352	379	32.8
	6	7	2	21.4	42.8	71.5	114	174	275	410	545	685	850	35.3
	8	8	2	31.8	60.0	90.8	133	198	290	416	580	780	985	34.0
	8	8	3	43.4	84.0	158	284	482	780	1030	1250	1370	1470	35.5
	1-1/2	1.5-1/16	3/4	2.03	2.90	4.02	6.20	7.88	10.3	14.7	21.0	28.4	38.7	33.4
	2	1.3-1/16	3/4	1.63	2.48	3.90	4.78	6.85	9.85	14.5	20.1	28.2	35.7	32.7
	2-1/2	1-7/8	3/4	2.81	4.48	6.48	8.85	12.3	18.9	28.9	42.8	59.0	74.0	33.7
3	2.5-1/16	1-1/8	3.40	5.70	8.68	12.3	18.4	27.2	40.7	60.0	82.0	119	33.6	
4	2-7/8	1-1/2	6.60	12.8	19.0	27.7	40.8	60.3	93.0	137	180	202	36.0	
6	4-3/8	2	11.0	18.8	27.1	43.2	71.8	112	174	264	368	457	33.3	

NOTA 4, 5



From Up

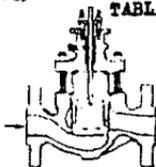


TABLA A8

DISEÑO RD, CLASAS 125-- 00
CAJA WHISPER TRIM I Y III
CARACTERISTICA LINEAL

L	C	d	Ap	V _m	Kv										Km C
					10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
C _v (Liquid)	1-1/4	1-5/16	3/4	3.28	7.39	12.0	14.2	14.9	15.3	15.7	16.0	16.4	16.8		
		1-7/8	3/4	2.6	6.84	10.9	20.8	23.2	24.2	24.8	25.4	26.1	26.7		
		2-1/2	1-1/8	7.30	19.1	34.6	42.5	47.0	47.1	47.2	47.2	48.0			
		2-7/8	1-1/2	12.2	32.6	49.7	54.4	55.9	59.8	64.0	67.7	71.4	74.0		
		3	1-7/8	11.7	34.6	61.4	76.9	78.9	77.1	79.0	84.3	92.1	97.0		
		4	2-1/8	2	33.8	76.1	112	137	143	144	145	146	150	157	
	2	1-5/16	3/4	3.12	7.38	13.0	18.5	20.7	21.4	21.8	22.1	22.9	23.2		
		1-7/8	3/4	2.86	6.79	11.7	18.4	23.6	27.9	30.9	33.5	35.3	37.7		
		2-1/2	1-1/8	3.11	8.21	14.9	22.4	29.9	36.0	41.5	46.4	50.5	53.6		
		2-7/8	1-1/2	11.9	19.0	32.8	45.4	47.6	49.0	48.8	48.4	48.1	48.1		
		3	1-7/8	11.7	31.8	51.4	72.7	93.0	111	128	142	164	182		
		4	2-1/8	2	55.8	135	196	245	270	285	297	308	318		
C _g (Gas)	1-1/4	1-5/16	3/4	100	230	377	456	521	544	565	577	585	589	35.1	
		1-7/8	3/4	99.0	282	442	587	727	850	932	974	891	1010	37.8	
		2	1-1/8	227	525	781	1060	1310	1560	1730	1790	1830	1860	38.8	
		2-1/2	1-1/2	422	853	1280	1670	1990	2240	2370	2410	2410	2510	33.9	
		2-7/8	1-1/2	811	1100	1870	2040	2510	2940	3300	3520	3610	3700	38.1	
		4	2-1/8	2	1070	1860	2750	3580	4430	5120	5560	5810	5890	6110	38.9
	2	1-5/16	3/4	93.3	246	363	458	569	675	764	838	894	933	27.0	
		1-7/8	3/4	93.8	238	346	457	565	665	760	860	968	1020	27.4	
		2-1/2	1-1/8	306.8	607	890	1127	1354	1585	1805	1990	1990	1320	20.8	
		2-7/8	1-1/2	876	847	908	1090	1330	1640	1900	2160	2400	2580	25.5	
		3	1-7/8	441	886	1300	1720	2140	2560	2940	3350	3730	4010	24.8	
		4	2-1/8	2	1210	2840	4190	5560	6880	8040	9040	9890	10600	11200	32.5
C _s (Steam)	1-1/4	1-5/16	3/4	5.00	11.5	18.8	22.8	26.1	27.2	28.3	28.9	29.2	29.4	35.1	
		1-7/8	3/4	4.95	14.1	22.1	29.4	36.4	42.5	46.8	48.7	49.8	50.5	37.8	
		2	1-1/8	11.4	26.3	39.1	52.5	66.0	78.0	88.5	99.5	111.5	121	38.8	
		2-1/2	1-1/2	21.1	42.7	64.0	83.5	99.5	112	119	121	121	128	33.9	
		2-7/8	1-1/2	30.8	55.0	78.5	102	126	147	165	178	181	185	38.1	
		4	2-1/8	2	53.5	97.8	137	178	221	258	278	291	299	306	38.9
	2	1-5/16	3/4	4.87	12.3	17.7	22.9	28.5	33.8	38.2	41.9	44.7	46.7	37.0	
		1-7/8	3/4	4.88	11.8	17.8	22.9	28.3	34.3	39.0	44.0	48.4	51.0	27.8	
		2-1/2	1-1/8	4.83	15.4	23.0	30.5	37.7	45.3	52.9	59.9	66.0	71.0	26.5	
		2-7/8	1-1/2	13.8	27.4	40.4	54.5	68.5	82.0	95.0	108	120	128	25.5	
		3	1-7/8	11.7	22.1	35.0	48.0	61.0	74.0	87.0	100	113	126	24.8	
		4	2-1/8	2	80.5	142	210	278	344	402	452	494	528	560	32.5

A3 AP/P, S, 0.8	C _g (Gas)	6	5-3/8	3	140*	2220	3330	4420	5600	6860	7810	8850	9670	10,600	30.0
	C _s (Steam)	6	5-3/8	3	7*	111	187	221	276	328	381	433	484	530	30.0
B3 AP/P, S, .78	C _g (Gas)	6	5-3/8	3	140*	1240	1850	2470	3090	3690	4310	4910	5510	6100	30.0
	C _s (Steam)	6	5-3/8	3	7*	62	93	124	155	185	216	246	276	305	30.0
C3 AP/P, S, .86	C _g (Gas)	6	5-3/8	3	140*	840	1240	1680	2080	2490	2910	3310	3720	4130	30.0
	C _s (Steam)	6	5-3/8	3	7*	42	62	83	104	125	146	166	186	207	30.0
D3 AP/P, S, .86	C _g (Gas)	6	5-3/8	3	140*	200	285	368	443	530	616	704	790	870	30.0
	C _s (Steam)	6	5-3/8	3	7*	10	14.3	19.9	27.1	34.0	41.5	49.4	57	65	30.0

NOTA 4, 7, 8, 9

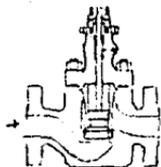


TABLA A-9

DISEÑO EHS CLASE 1500

- 1) CAJA LINEAL
- 2) CAJA DE IGUAL PORCENTAJE
- 3) CAJA MODIFICADA DE IGUAL PORCENTAJE

1

C	d	Ap	T ₁	% T										K _m C _i
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
C ₁ (Liquid)	2 3/4 x 2	1-7/8	1-1/2	5.81	11.9	18.3	24.8	30.6	36.7	45.1	54.9	60.4	64.1	66
	3 3/4 x 3	2-7/8	2	12.2	24.4	36.6	48.8	61.0	73.2	85.4	97.6	110	122	77
	4 3/4 x 4	3-5/8	2	25.9	51.8	77.7	103.6	129.5	155.4	181.3	207.2	233.1	259	79
6 3/8 x 6	5-3/8	3	44.2	88.3	132.5	176.7	220.9	265.1	309.3	353.5	397.7	441.9	486.1	79
C ₂ (Gas)	2 3/4 x 2	1-7/8	1-1/2	197	396	619	846	1060	1280	1600	1930	2130	2210	34.5
	3 3/4 x 3	2-7/8	2	427	854	1281	1708	2135	2562	2989	3416	3843	4270	35.0
	4 3/4 x 4	3-5/8	2	860	1800	2800	3700	4600	5400	6100	6900	7700	7000	34.0
6 3/8 x 6	5-3/8	3	1860	3760	5570	7350	9240	11100	13000	14700	15100	15100	34.5	
C ₃ (Steam)	2 3/4 x 2	1-7/8	1-1/2	8.85	19.8	31.0	42.3	53.0	64.0	80.5	96.5	107	111	34.5
	3 3/4 x 3	2-7/8	2	21.3	42.8	63.0	89.2	107	128	149	170	192	213	35.0
	4 3/4 x 4	3-5/8	2	44.5	89.0	140	185	230	270	305	330	340	350	34.0
6 3/8 x 6	5-3/8	3	94.5	189	279	369	462	560	660	735	758	755	34.5	

2

C	d	Ap	T ₁	% T										K _m C _i
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
C ₁ (Liquid)	2 3/4 x 2	1-7/8	1-1/8	3.02	4.43	5.88	7.60	10.8	14.6	20.1	27.7	36.7	45.9	62
	3 3/4 x 3	2-7/8	1-1/2	3.05	4.79	7.43	10.7	15.7	22.6	32.2	43.0	61.1	82.5	68
	4 3/4 x 4	3-5/8	1-1/2	4.43	7.00	13.3	20.0	30.7	44.6	63.2	89.5	121	151	79
6 3/8 x 6	5-3/8	2-1/2	8.96	12.8	22.2	37.0	61.1	96.9	152	222	303	373	79	
C ₂ (Gas)	2 3/4 x 2	1-7/8	1-1/8	97.7	145	200	274	366	495	661	965	1320	1650	35.9
	3 3/4 x 3	2-7/8	1-1/2	108	160	262	378	553	797	1130	1520	2151	2910	35.3
	4 3/4 x 4	3-5/8	1-1/2	148	265	445	670	1028	1484	2117	2998	4340	5968	33.5
6 3/8 x 6	5-3/8	2-1/2	267	496	829	1290	1910	2980	4250	6320	8620	11,800	37.3	
C ₃ (Steam)	2 3/4 x 2	1-7/8	1-1/8	4.89	7.25	10.0	13.7	18.3	24.6	34.8	48.3	66.0	82.5	35.9
	3 3/4 x 3	2-7/8	1-1/2	5.40	8.45	13.1	18.9	27.7	39.9	58.5	76.0	108	146	35.3
	4 3/4 x 4	3-5/8	1-1/2	7.45	13.2	22.3	33.5	51.4	74.7	106	150	217	283	33.5
6 3/8 x 6	5-3/8	2-1/2	13.3	24.6	41.5	64.4	95.7	149	212	318	441	580	37.3	

3

C	d	Ap	T ₁	% T										K _m C _i
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
C ₁ (Liquid)	2 3/4 x 2	1-7/8	1-1/2	3.48	5.29	7.96	11.9	18.2	27.7	40.0	50.5	57.8	62.7	67
	3 3/4 x 3	2-7/8	2	3.38	8.11	10.8	18.3	25.7	43.3	66.8	99.6	118	130	83
	4 3/4 x 4	3-5/8	2	5.41	11.0	20.0	44.4	54.7	80.0	133	188	194	209	79
6 3/8 x 6	5-3/8	3	7.60	15.9	30.0	61.1	94.4	162	259	366	401	407	79	
C ₂ (Gas)	2 3/4 x 2	1-7/8	1-1/2	111	176	268	410	623	964	1450	1840	2080	2180	34.8
	3 3/4 x 3	2-7/8	2	128	230	380	623	961	1520	2320	3300	4000	4420	34.0
	4 3/4 x 4	3-5/8	2	181	308	670	1142	1832	3015	4406	6078	8469	7002	33.5
6 3/8 x 6	5-3/8	3	347	643	1190	1950	3310	5550	8980	12,200	14,400	15,200	37.3	
C ₃ (Steam)	2 3/4 x 2	1-7/8	1-1/2	5.05	8.80	13.4	20.5	31.2	48.2	72.5	92.0	104	108	34.8
	3 3/4 x 3	2-7/8	2	8.40	11.5	19.0	31.2	48.1	76.0	118	165	200	221	34.0
	4 3/4 x 4	3-5/8	2	9.02	18.4	33.8	57.1	91.8	151	228	281	325	340	34.0
6 3/8 x 6	5-3/8	3	17.4	32.7	56.0	97.5	166	263	443	610	720	780	37.3	

NOTA 9

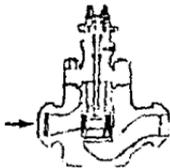


TABLA A-10 DISEÑO KHT, GAJA CAVITROL III
CARACTERISTICA LINEAL

900 y 1500

Etapas	d	Ap	f _t	Cvmm	% T										Km
					10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
2	1, 1-1/2 x 1, & 2 x 1 ⁽¹⁾	7/8	1-1/2	360	080	590	1,40	2,30	3,10	4,00	4,70	5,40	6,10	6,54	96
	2 & 3 x 2	1-3/4	2	580	0,60	2,00	3,61	5,32	7,03	8,61	10,3	12,0	13,5	14,3	96
	3 & 4 x 3	2-1/2	2-1/2	720	1,00	3,19	6,00	8,81	11,6	14,3	17,1	19,8	22,0	26,6	96
	4 & 4 x 6	3-7/16	3	900	2,61	9,01	15,6	21,8	28,3	34,8	40,4	46,4	52,2	58,1	96
	6 & 6 x 6	5-1/4	4	1,172	7,50	20,7	33,8	47,0	60,1	73,3	87,0	100	112	123	96
3	1, 1-1/2 x 1, & 2 x 1	1	2	590	560	1,30	2,20	3,10	3,90	4,60	5,00	5,50	7,30	7,40	96
	2 & 3 x 3	1-7/8	2-1/2	1,20	1,45	3,30	4,50	6,20	8,00	9,80	11,4	12,8	14,2	15,6	96
	4 & 6 x 4	2-7/8	3	1,70	2,60	5,50	8,30	11,0	13,9	16,7	19,4	22,2	25,0	27,8	96
	6 & 6 x 6	4-9/16	4	2,10	6,10	13,2	19,8	26,1	34,1	41,5	48,2	54,5	60,9	66,0	96

2500

2	1, 1-1/2 x 1, & 2 x 1 ⁽¹⁾	5/8	1-1/4	210	170	490	1,00	1,60	2,20	2,70	3,20	4,10	4,30	96	
	2 & 3 x 2	1-1/4	1-3/4	410	490	1,60	2,90	4,10	5,30	6,50	7,70	8,80	9,70	10,1	96
	3 & 4 x 3	1-7/8	2-1/2	610	990	3,80	6,60	9,40	12,1	14,9	17,6	20,1	22,7	24,1	96
	4 & 6 x 4	2-7/8	2-3/4	910	2,10	7,10	12,2	17,2	22,3	27,2	32,2	37,3	42,1	43,9	96
	6 & 6 x 6	4-3/8	3-3/4	1,50	4,60	12,8	20,8	29,0	37,0	44,9	52,9	60,9	69,3	75,8	96
3	1, 1-1/2 x 1, & 2 x 1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	2 & 3 x 2 ⁽¹⁾	5/8	2	490	280	740	1,20	1,60	2,00	2,50	2,90	3,30	3,60	3,70	96
	3 & 4 x 3	1-5/16	2-1/2	730	1,44	2,67	4,06	5,37	6,67	7,93	9,28	10,5	11,8	13,1	96
	4 & 4 x 6	2-5/16	2-3/4	1,00	1,00	3,90	6,50	8,90	11,7	14,4	16,9	19,0	20,3	20,8	96
	6 & 6 x 6	4-3/8	3-3/4	2,90	5,50	14,7	22,7	29,5	35,8	42,0	49,1	56,3	63,5	66,7	96

NOTA 4, 10, 11

From Up

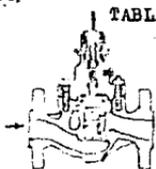
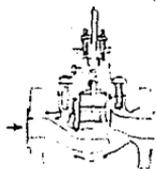
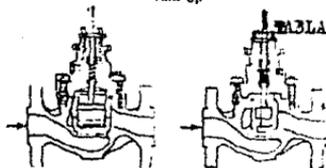


TABLA AL DISEÑO ES, CLASES 125-600
CAJA DE APERTURA RAPIDA

C	d	Ap	C _v 1/2 T	T t	% T										K _m C _i			
					10	20	30	40	50	60	70	80	90	100				
C ₁ (liquid)	1/2	1.5 16	6.7	3.4	4.60	5.83	6.77	7.55	8.44	8.48	8.53	8.53	8.53	8.53	8.53	8.53	8.53	8.53
	3/4	1.5 16	12.3	3.4	4.94	8.80	11.8	13.1	13.8	14.1	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2
	1 & 1/4	1.5 16	16.3	3.4	5.24	10.0	15.0	18.4	20.3	21.0	21.1	21.3	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4
	1 1/2	1.7 8	7.4	3.4	2.60	15.1	22.7	28.7	33.4	37.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0
	2	2.5 16	35.3	1 1/8	14.3	31.1	48.6	59.7	65.7	67.2	67.2	67.2	67.2	67.2	67.2	67.2	67.2	67.2
	2 1/2	2.7 8	25.3	1 1/2	21.8	42.0	66.6	83.8	91.1	93.1	93.1	93.1	93.1	93.1	93.1	93.1	93.1	93.1
	3	3.7 16	37.4	1 1/2	23.3	45.5	78.3	106	120	130	136	143	146	150	155	160	165	170
	4	4.3 8	16.3	2	39.0	77.3	132	174	198	215	225	230	234	235	235	235	235	235
	6	7	107	2	89.9	167	255	327	365	395	418	436	455	469	479	485	489	491
	8	8	122	2	94.4	205	323	441	539	622	678	727	759	787	813	831	847	861
	8	8	122	3	156	337	490	612	700	759	798	820	844	855	861	865	868	871
	1 1/2	1.5 16	18.0	3.4	4.83	10.5	16.2	21.4	25.8	28.2	29.8	30.2	30.3	30.3	30.4	30.4	30.4	30.4
2	1.5 16	18.0	3.4	5.12	10.5	16.7	22.2	26.8	30.8	33.9	36.3	38.1	39.4	39.8	39.8	39.8	39.8	
2 1/2	1.7 8	26.1	3.4	7.40	15.5	23.3	31.4	38.8	48.4	56.1	61.7	67.3	69.2	70.0	70.0	70.0	70.0	
3	2.5 16	36.3	1 1/8	14.7	32.4	51.2	68.8	83.1	94.3	103	108	112	113	113	113	113	113	
4	2.7 8	41.2	1 1/2	26.9	47.2	76.4	108	135	156	169	178	181	183	183	183	183	183	
4	4.3 8	66.1	2	49.8	108	164	217	255	272	282	290	291	291	291	291	291	291	
C ₂ (gas)	1/2	1.5 16	20.3	3.4	132	190	201	205	206	206	206	206	206	206	206	206	206	
	3/4	1.5 16	37.9	3.4	150	297	367	398	416	416	415	415	415	415	415	415	415	
	1 & 1/4	1.5 16	53.0	3.4	152	326	486	598	650	671	667	669	689	690	690	690	690	
	1 1/2	1.7 8	78.4	3.4	231	473	713	833	1120	1250	1310	1340	1350	1350	1350	1350	1350	
	2	2.5 16	1100	1 1/8	435	985	1530	2030	2770	3360	3600	3620	3620	3620	3620	3620	3620	
	2 1/2	2.7 8	1180	1 1/2	708	1390	2260	2980	3250	3390	3430	3430	3470	3470	3470	3470	3470	
	3	3.7 16	1150	1 1/2	713	1400	2430	3110	4130	4430	4670	4800	4900	5000	5090	5130		
	4	4.3 8	1490	2	1250	2570	4480	6080	6940	7810	7990	8100	8280	8300	8300	8300		
	6	7	3270	2	2720	5070	7810	10400	11800	13000	13800	14600	15200	15700	15700			
	8	8	3830	2	3120	6390	8900	13700	17800	21200	23800	25800	27400	28400	28400			
	8	8	3930	3	4500	10100	15900	21300	27400	32800	38800	42800	46000	48000	48000			
	1 1/2	1.5 16	56.0	3.4	151	330	497	667	800	910	973	1010	1020	1020	1020	1020		
2	1.5 16	55.7	3.4	157	324	502	671	811	950	1210	1370	1356	1350	1343				
2 1/2	1.7 8	81.5	3.4	236	480	728	988	1290	1610	1840	2240	2310	2540	2670				
3	2.5 16	1090	1 1/8	459	974	1646	2120	2740	3220	3510	3800	3970	3990	34.7				
4	4.3 8	1232	1 1/2	779	1640	2500	3520	4480	5370	5980	6320	6280	6280	6280				
6	7	2160	2	1680	3480	5160	7000	8660	9890	10860	10200	11100	11700					
C ₃ (steam)	1/2	1.5 16	10.2	3.4	6.60	9.50	10.1	10.2	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3		
	3/4	1.5 16	19.0	3.4	7.5C	16.6	18.4	19.8	20.5	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8		
	1 & 1/4	1.5 16	26.5	3.4	7.80	16.3	24.3	29.9	32.5	33.9	34.4	34.5	34.5	34.5	34.5			
	1 1/2	1.7 8	39.2	3.4	11.6	23.7	35.7	46.7	56.0	62.5	65.9	67.0	67.5	67.5	67.5			
	2	2.5 16	55.0	1 1/8	22.8	49.3	78.5	102	114	118	120	121	121	121	121			
	2 1/2	2.7 8	58.0	1 1/2	35.4	69.5	113	149	163	170	172	174	174	174	174			
	3	3.7 16	76.0	1 1/2	35.7	70.0	122	176	207	227	234	245	250	255				
	4	4.3 8	74.5	2	62.8	129	223	304	347	376	395	405	414	415				
	6	7	164	2	136	254	389	520	595	650	690	730	760	785				
	8	8	192	2	156	320	490	685	890	1060	1190	1300	1370	1420				
	8	8	192	3	225	505	795	1075	1260	1440	1480	1520	1540	1540				
	1 1/2	1.5 16	29.9	3.4	7.55	16.5	24.9	33.6	40.0	45.6	48.7	50.5	51.0	51.0				
2	1.5 16	29.9	3.4	7.85	16.2	25.1	33.6	43.3	52.5	60.5	66.0	67.5	67.5					
2 1/2	1.7 8	40.8	3.4	11.8	24.0	38.4	48.4	64.3	80.5	97.0	111	118	127					
3	2.5 16	54.5	1 1/8	23.0	48.7	77.0	106	137	161	179	190	192	192					
4	2.7 8	64.5	1 1/2	39.0	78.0	121	178	224	268	298	313	314	314					
6	4.3 8	108	2	84.0	172	258	350	434	495	530	545	555	560					

NOTA 3, 4, 12

Flow Up

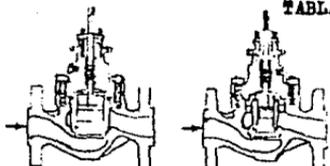


TAJLA A12 DISEÑO RS, CLASES 125-600
CAJA DE IGUAL PORCENTAJE

C	d	Ad	Tl	% T											Km C.
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		
C _v (Liquid)	1 & 1/4	1.516	3/4	227	412	623	854	110	134	158	178	193	201	80	
	1 1/2	1.78	3/4	256	701	111	151	190	229	267	300	331	34.9	85	
	2	2.516	1 1/8	849	171	259	353	444	529	592	670	838	85.3	83	
	2 1/2	2.78	1 1/2	104	222	349	471	582	656	737	823	844	86.5	86	
	3	3.716	1 1/2	153	343	528	714	878	101	112	125	129	135	80	
	4	4.38	2	237	464	729	982	122	145	165	183	199	217	79	
	6	7	2	550	118	180	235	280	312	341	368	390	412	68	
	8	8	2	858	147	221	292	375	450	522	597	652	701	70	
	8	8	3	100	213	320	451	553	646	719	772	809	836	72	
	1 1/2	1.516	3/4	242	430	640	877	115	146	178	211	243	268	90	
	2	1.516	3/4	222	411	608	825	110	143	180	218	260	309	83	
	2 1/2	1.78	3/4	350	885	108	148	189	233	282	341	411	486	86	
3	2.516	1 1/8	638	130	207	291	382	479	580	684	793	888	83		
4	2.78	1 1/2	108	225	350	475	602	731	860	103	120	138	86		
6	4.38	2	157	358	602	862	115	146	179	215	247	271	80		
C _v (Gas)	1 & 1/4	1.516	3/4	255	137	207	285	367	451	532	598	647	668	33.7	
	1 1/2	1.78	3/4	113	214	345	486	628	766	903	1030	1140	1220	35.0	
	2	2.516	1 1/8	267	545	860	1190	1510	1810	2040	2160	2230	2280	36.8	
	2 1/2	2.78	1 1/2	341	757	1200	1680	2060	2430	2730	2970	3120	3220	37.2	
	3	3.716	1 1/2	477	1090	1720	2390	2980	3450	3910	4290	4530	4680	34.7	
	4	4.38	2	705	1480	2340	3240	4120	4980	5630	6640	7190	7540	35.1	
	6	7	2	1700	3900	6030	7790	9810	11100	12100	13100	13900	14400	34.5	
	8	8	2	2320	4510	6830	9270	12000	14800	17500	20100	21400	24400	34.8	
	8	8	3	3140	6730	10800	15000	19000	22400	25100	27300	28700	29900	35.8	
	1 1/2	1.516	3/4	278	142	216	292	375	481	598	722	845	962	35.8	
	2	1.516	3/4	188	137	207	285	365	470	588	722	877	1050	34.0	
	2 1/2	1.78	3/4	110	217	358	501	640	808	988	1200	1450	1720	35.4	
3	2.516	1 1/8	208	428	695	958	1230	1540	1860	2120	2680	3060	34.5		
4	2.78	1 1/2	332	737	1170	1610	2040	2500	2990	3570	4210	4910	35.3		
6	4.38	2	517	1170	1980	2850	3760	4690	5650	6720	8610	9800	36.1		
C _v (Steam)	1 & 1/4	1.516	3/4	378	685	104	143	184	226	266	299	324	334	33.7	
	1 1/2	1.78	3/4	585	107	173	243	314	383	452	515	570	610	35.0	
	2	2.516	1 1/8	134	273	430	605	755	905	107	126	142	144	34.9	
	2 1/2	2.78	1 1/2	171	379	600	815	103	122	137	149	156	161	37.2	
	3	3.716	1 1/2	239	545	860	1190	1490	174	196	216	224	234	34.7	
	4	4.38	2	353	730	111	162	206	249	285	332	360	377	35.4	
	6	7	2	850	195	307	390	491	555	665	855	895	920	34.5	
	8	8	2	116	226	342	468	600	740	875	1010	1120	1220	34.8	
	8	8	3	157	337	540	750	950	1120	1270	1330	1440	1500	35.8	
	1 1/2	1.516	3/4	380	710	108	146	188	241	288	341	423	481	35.8	
	2	1.516	3/4	178	323	104	142	183	235	294	361	438	525	34.0	
	2 1/2	1.78	3/4	650	109	178	251	320	404	499	600	725	860	35.4	
3	2.516	1 1/8	104	214	347	479	617	770	930	1100	1300	152	34.4		
4	2.78	1 1/2	186	369	585	805	102	125	150	179	211	246	35.3		
6	4.38	2	258	585	890	143	188	235	293	359	431	490	36.1		

NOTA 4,6, 12

View Up

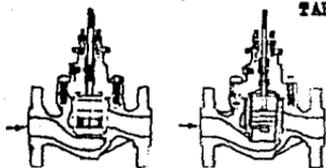
TABLA A-13 DISEÑO BS, CLASES 125-600
CAJA LINEAL


C	d	A _p	T _t	% T										K _m
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		C_{i}
C ₁ (Liquid)	1 & 1/4	1.5 16	3/4	.783	1.29	1.88	2.71	4.18	6.44	9.54	13.1	15.7	17.4	90
	1-1/2	1.7 8	3/4	1.54	2.52	3.57	4.94	7.41	11.8	17.2	23.5	28.7	33.4	89
	2	2.5 16	1-1/8	1.74	3.15	4.72	6.91	10.6	16.3	25.0	36.7	47.8	56.2	85
	2-1/2	2.7 8	1-1/2	4.05	7.19	10.6	14.5	21.2	31.6	45.5	64.2	77.7	82.7	87
	3	3.7 16	1-1/2	4.05	6.84	10.0	15.0	23.8	37.8	58.0	87.1	110	121	79
	4	4.3 8	2	6.56	11.4	17.3	27.0	42.2	66.4	103	145	184	203	82
	6	7	2	13.2	24.6	41.1	62.5	97.1	155	232	286	326	357	74
	8	8	3	18.8	32.6	53.6	79.8	114	188	242	345	467	570	72
	8	8	3	25.9	53.3	97.8	178	299	461	618	727	788	808	72
	1-1/2	1.5 16	3/4	.882	1.35	1.89	2.52	3.88	5.52	8.13	12.0	16.5	21.0	91
	2	1.5 16	3/4	.849	1.34	1.83	2.39	3.43	5.12	7.49	11.2	15.8	20.8	82
	2-1/2	1.7 8	3/4	1.43	2.37	3.34	4.78	7.25	11.3	17.3	24.2	31.8	40.3	90
3	2.5 16	1-1/8	2.74	3.44	4.86	6.95	10.8	16.5	25.0	37.7	52.7	67.5	88	
4	2.7 8	1-1/2	3.98	7.14	10.6	14.5	21.1	31.7	48.0	69.7	95.8	121	88	
6	4.3 8	2	4.98	9.02	14.0	24.2	38.4	60.8	94.6	144	199	273	82	
C ₂ (Gas)	1 & 1/4	1.5 16	3/4	2.72	46.0	65.0	88.7	135	203	303	431	532	591	34.0
	1-1/2	1.7 8	3/4	50.6	67.5	119	169	249	383	575	762	1020	1190	35.6
	2	2.5 16	1-1/8	70.0	116	174	248	375	575	890	1260	1750	2070	36.8
	2-1/2	2.7 8	1-1/2	140	252	368	512	741	1090	1610	2300	2850	3100	37.4
	3	3.7 16	1-1/2	142	238	349	527	829	1310	2050	3030	3830	4210	34.6
	4	4.3 8	2	223	386	595	840	1450	2250	3490	5010	6550	7360	36.7
	6	7	2	449	845	1440	2100	3480	5480	8020	10400	12000	12900	38.1
	8	8	3	703	1250	1880	2780	3900	5810	8170	11600	15600	19000	33.3
	8	8	3	941	1820	2230	3590	9850	15600	21200	25900	27900	28400	36.4
	1-1/2	1.5 16	3/4	30.9	46.7	64.8	85.4	129	187	272	386	552	736	35.0
	2	1.5 16	3/4	39.8	58.8	72.4	90.8	128	187	270	371	540	710	34.1
	2-1/2	1.7 8	3/4	48.6	80.5	115	185	239	373	570	789	1100	1390	34.5
3	2.5 16	1-1/8	95.1	118	169	246	371	568	868	1280	1810	2320	34.4	
4	2.7 8	1-1/2	141	256	372	506	736	1090	1610	2360	3240	4230	31.0	
6	4.3 8	2	182	321	484	615	1340	2090	3290	4210	6750	6370	39.9	
C ₃ (Steam)	1 & 1/4	1.5 16	3/4	1.38	2.30	3.25	4.44	6.75	10.7	15.2	21.6	28.6	29.8	34.0
	1-1/2	1.7 8	3/4	2.57	4.13	5.95	8.45	12.5	19.2	28.8	39.1	51.0	59.5	35.0
	2	2.5 16	1-1/8	3.50	5.80	8.70	12.4	18.8	28.8	44.5	64.3	85.0	104	36.8
	2-1/2	2.7 8	1-1/2	7.00	12.8	18.3	25.6	37.1	54.5	80.5	115	143	155	37.4
	3	3.7 16	1-1/2	7.10	11.8	17.5	26.1	41.5	65.5	102	152	182	211	34.8
	4	4.3 8	2	11.2	19.3	29.8	47.5	72.5	113	175	251	328	368	36.7
	6	7	2	22.5	42.3	72.0	115	174	274	401	570	600	645	38.1
	8	8	3	35.2	62.5	91.0	138	195	281	409	560	780	850	33.3
	8	8	3	47.1	91.0	167	280	493	707	1060	1300	1450	1470	38.4
	1-1/2	1.5 16	3/4	1.85	3.24	4.77	6.48	9.35	13.6	19.8	27.8	36.8	38.0	36.0
	2	1.5 16	3/4	1.99	2.84	3.82	4.54	6.39	8.34	13.5	18.8	27.0	38.5	34.1
	2-1/2	1.7 8	3/4	2.33	4.02	5.65	8.25	12.0	18.7	28.5	40.0	55.0	69.8	34.4
3	2.5 16	1-1/8	4.78	8.35	12.4	17.3	26.4	42.8	64.5	90.5	121	154	34.4	
4	2.7 8	1-1/2	7.05	12.8	18.8	26.4	38.8	54.0	80.5	118	167	212	36.0	
6	4.3 8	2	9.10	16.1	24.7	40.8	67.0	105	162	242	338	419	36.9	

NOTA 4, 6, 12

Flow Up

TABLA A1.4 DISEÑO ES, CLASES 125-600
CAJAS WHISPER TRIM I Y III



L	C	d	Ap	Ti	% T										r/m C ₁
					10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
C _v (liquid)	1	1-1/4	1-5/16	3/4	3.19	8.97	11.8	15.1	18.5	17.2	17.3	17.4	17.4	18.4	...
		1-1/2	1-7/8	3/4	3.43	9.78	12.6	17.1	21.5	31.5	34.0	35.1	36.0	31.2	...
		2	2-5/16	1-1/8	8.27	21.8	28.3	47.3	55.1	80.2	63.2	66.3	66.8	67.8	...
		2-1/2	2-7/8	1-1/2	12.8	33.8	58.0	70.8	80.0	85.4	89.5	90.3	91.1	91.7	...
		3	3-7/16	1-1/2	11.1	36.0	67.3	81.5	98.8	111	119	124	128	131	...
		4	4-3/8	2	28.1	66.5	85.6	111	128	139	147	151	151	151	...
	2	1-1/2	1-5/16	3/4	2.84	8.74	11.3	17.4	22.1	27.7	28.7	28.7	29.1	29.3	...
		1-5/8	3/4	3.82	7.07	12.2	19.4	23.3	27.8	31.1	34.0	35.8	37.0	...	
		2-1/2	2-5/16	1-1/8	9.06	18.3	23.4	31.2	36.8	43.4	46.3	52.1	55.8	...	
		3	2-7/8	1-1/8	8.83	18.1	30.8	43.4	56.1	67.1	77.8	87.2	96.8	102	...
		4	3-7/16	1-1/2	12.8	33.8	58.5	78.4	88.3	114	130	143	158	164	...
		6	4-3/8	2	34.1	84.1	114	144	174	231	319	349	389	411	...
C _g (gas)	1	1-1/4	1-5/16	3/4	118	241	381	488	630	642	673	680	688	808	32.8
		1-1/2	1-7/8	3/4	108	283	450	598	750	698	1020	1110	1180	1180	32.0
		2	2-5/16	1-1/8	298	558	832	1120	1410	1700	1920	2060	2150	2200	32.4
		2-1/2	2-7/8	1-1/2	495	830	1260	1780	2170	2810	2720	2870	2960	3000	32.7
		3	3-7/16	1-1/2	680	1180	1820	2110	2870	3040	3440	3730	3950	4070	31.1
		4	4-3/8	2	1110	2030	2830	3680	4540	5300	6150	6300	6430	6780	32.1
	2	1-1/2	1-5/16	3/4	82.8	227	338	463	560	670	773	864	948	968	33.7
		2	1-5/8	3/4	114	248	385	477	622	695	796	867	887	1040	28.1
		2-1/2	2-7/8	3/4	124	314	479	628	774	918	1070	1220	1350	1480	28.2
		3	2-5/16	1-1/8	314	589	868	1130	1410	1670	1830	2170	2410	2570	25.2
		4	2-7/8	1-1/2	482	831	1240	1780	2170	2800	2980	3380	3750	4030	24.8
		6	3-7/16	1-1/2	680	1180	1820	2110	2870	3040	3440	3730	3950	4070	31.1
C _g (steam)	1	1-1/4	1-5/16	3/4	8.78	12.1	17.8	22.8	26.5	28.1	28.7	29.0	29.3	30.3	32.9
		1-1/2	1-7/8	3/4	8.48	14.2	22.5	30.0	37.8	44.9	51.0	55.5	58.0	58.5	37.0
		2	2-5/16	1-1/8	13.3	28.0	41.8	60.0	70.5	85.0	90.0	103	108	110	37.4
		2-1/2	2-7/8	1-1/2	24.8	48.5	67.5	88.0	108	128	138	144	148	160	37.0
		3	3-7/16	1-1/2	34.0	68.0	91.0	108	128	152	172	187	198	204	31.1
		4	4-3/8	2	85.3	102	141	184	227	268	297	318	332	338	32.1
	2	1-1/2	1-5/16	3/4	4.86	11.9	17.0	21.7	25.0	33.5	36.7	43.3	47.3	48.4	33.7
		1-5/8	3/4	5.70	12.9	18.3	22.4	29.1	34.8	36.8	48.1	49.4	52.0	29.1	
		2-1/2	2-7/8	3/4	8.20	18.7	23.8	31.4	38.7	46.8	53.3	61.0	67.8	73.0	29.2
		3	2-5/16	1-1/8	15.7	29.8	42.8	52.3	66.5	70.8	83.2	95.5	108	121	28.2
		4	2-7/8	1-1/2	24.8	48.8	67.0	86.0	108	130	150	168	188	202	24.8

A3 APP. 5.0-8	C _g	8	8-3/8	3	140°	2220	3330	4420	5600	6660	7810	8850	9670	10,800	30.0
	C _v	8	8-3/8	3	7°	111	187	221	278	328	381	433	484	530	30.0
B3 APP. 5.79	C _g	8	8-3/8	3	140°	1240	1850	2470	3090	3680	4310	4910	5610	6100	30.0
	C _v	8	8-3/8	3	7°	82	93	124	158	188	218	248	278	305	30.0
C3 APP. 5.88	C _g	8	8-3/8	3	140°	840	1240	1680	2080	2480	2910	3310	3720	4030	30.0
	C _v	8	8-3/8	3	7°	42	62	83	104	125	146	166	186	207	30.0
D3 APP. 5.88	C _g	8	8-3/8	3	140°	200	285	355	543	1280	1830	2370	2880	3120	30.0
	C _v	8	8-3/8	3	7°	10	14.3	29.3	47.1	68.0	81.5	114	135	156	30.0

NOTA 4, 7, 8, 9

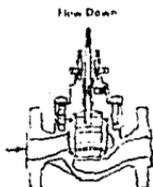
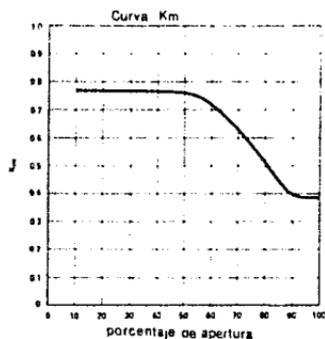
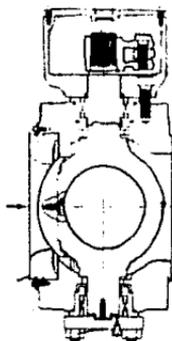


TABLA A-15 DISEÑO R₅, CLASES 125-600
 CAJA CAVITROL I

C	d	Ap	Tl	T										K _v
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
C _v (Liquid)	1	1.5 16	3/4	670	1.11	2.22	3.86	5.39	6.90	8.31	9.96	10.7	11.7	87
	1-1/2	1.7 8	3/4	713	1.18	2.40	4.70	7.43	9.71	11.7	13.7	15.7	17.4	87
	2	2.5 16	1-1/8	879	1.73	4.39	8.68	13.0	16.4	19.9	23.7	28.9	29.3	81
	2 1/2	2.7 8	1-1/2	831	3.82	10.3	18.7	27.0	27.4	32.6	37.4	41.5	44.8	88
	3	3.7 16	1-1/2	1.98	6.41	14.2	20.8	27.4	33.9	40.4	46.6	52.3	56.7	89
	4	4.3 8	2	3.48	14.7	26.9	39.1	51.2	62.6	73.5	83.8	93.3	102	80
6	7	2	3.77	14.1	30.7	50.3	67.7	82.6	100	118	133	145	82	

TABLA A-16 DISEÑO V25



C	d	C_v de 90° de apertura $d/D=1$									$d/D=0.68$ $d/D=0.5$		
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	100	100
C_v (Liquid)	4	339	116	25.0	49.4	82.8	129	197	307	474	877	511	450
	6	770	223	61.3	124	200	302	459	685	1080	1540	1160	1020
	8	133	64.9	17.7	25.1	39.1	53.4	79.4	119	184	243	176	154
	10	145	95.8	24.9	47.1	61.3	91.9	134	192	287	383	289	255
	12	180	114	29.5	52.8	80.8	120	172	246	371	475	359	318
	18	60.7	181	46.7	82.8	128	188	271	392	587	753	589	507
C_v (Gas)	4	58.0	290	789	1710	2820	4170	5500	7100	9190	11,600	9980	8720
	6	145	711	2190	4390	6950	9820	13,200	16,900	20,500	24,100	20,100	20,200
	8	373	2240	5870	8880	12,800	17,200	22,000	27,200	32,500	37,300	32,100	31,300
	10	552	3070	7360	13,500	20,200	28,200	36,800	45,100	53,600	61,300	52,700	51,400
	12	836	3340	8740	16,200	25,700	36,800	48,500	59,300	70,000	79,500	68,400	68,600
	18	1020	5330	14,000	25,400	40,800	58,400	77,500	94,000	112,000	127,000	109,000	106,000
C_t	4	17.1	25.0	31.6	34.6	34.1	31.9	27.8	23.1	19.4	17.1	19.5	21.6
	6	18.8	34.6	37.4	35.4	33.8	31.9	28.8	24.7	19.0	15.6	17.8	19.8
	8	18.0	32.0	32.0	34.0	35.5	31.2	28.6	24.3	19.7	16.0	18.2	20.2
	10	16.0	32.0	29.6	32.1	33.0	30.7	27.5	23.5	18.7	16.0	18.2	20.2
	12	16.7	29.3	29.6	30.7	31.8	30.7	28.2	24.1	18.9	16.7	19.1	21.1
	18	16.9	29.4	30.0	30.7	31.7	31.1	28.6	24.0	19.1	16.9	19.2	21.2

NOTA 13, 14, 15

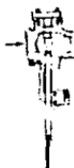


TABLA A-17

DISEÑO V100, FLUJO NORMAL
 SELLO DE BOLA DE METAL,
 SELLO DE BOLA TCM Y
 ANILLO DE FLUJO
 (APROXIMADAMENTE CARACTERISTICA
 DE IGUAL PORCENTAJE)

C	d	Clase	Rotación, grados									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	
C ₁ (Liquid)	1	150-600	0	.347	2.27	5.36	9.45	14.4	20.7	29.1	31.5	
	1-1/2	150-600	.412	3.29	8.03	15.7	25.8	38.0	54.1	84.8	103	
	2	150-600	.326	4.73	12.7	23.3	39.0	58.2	81.5	112	183	
	3	150-600	1.49	7.44	22.3	44.6	73.7	114	184	242	372	
	4	150-600	2.50	17.3	40.3	74.2	121	178	247	371	575	
	6	150-600	4.64	30.2	78.9	148	231	331	483	664	1160	
	8	150-600	5.66	47.8	120	225	354	512	749	1180	1770	
	10	150-300	18.6	93.0	245	431	660	987	1350	1880	3100	
	12	150	23.1	100	226	421	648	907	1210	1650	2570	
	12	150-300	39.3	196	442	776	1210	1640	2370	4120	4910	
	K _m	1	150-600	---	.90	.85	.80	.74	.74	.74	.74	.74
		1-1/2	150-600	---	.88	.87	.83	.78	.72	.65	.60	.55
2		150-600	---	.87	.84	.79	.74	.69	.63	.55	.48	
3		150-600	---	.80	.78	.76	.72	.67	.60	.54	.48	
4		150-600	---	.87	.84	.79	.74	.68	.60	.50	.37	
6		150-600	---	.75	.75	.74	.70	.63	.52	.41	.31	
8		150-600	---	.83	.81	.77	.71	.61	.48	.36	.28	
10		150-300	---	.81	.81	.78	.73	.66	.58	.47	.33	
12		150	---	.92	.87	.81	.77	.73	.69	.55	.36	
12		150-300	---	.82	.83	.73	.67	.60	.52	.43	.33	
C ₂ (Gas)		1	150-600	0	13.1	75.9	169	282	418	568	725	818
		1-1/2	150-600	10.6	127	295	509	783	1070	1460	1910	2120
	2	150-600	6.90	182	431	752	1120	1560	2090	2720	3450	
	3	150-600	44.6	253	758	1470	2270	3180	4310	5830	7430	
	4	150-600	75.6	518	1300	2330	3600	5010	6640	8620	10,800	
	6	150-600	136	1070	2620	4680	7040	9700	12,800	15,800	18,400	
	8	150-600	194	1880	4050	7080	10,800	15,100	19,700	23,100	28,900	
	10	150-300	652	3250	7380	13,100	19,500	26,900	35,500	44,800	54,300	
	12	150	777	3470	7870	14,600	20,200	27,600	34,200	42,100	51,800	
	12	150-300	1240	5770	13,300	24,600	33,600	44,900	59,900	74,200	88,700	
	C ₃ (Steam)	1	150-600	0	.555	2.69	6.45	14.1	20.9	28.4	36.2	40.8
		1-1/2	150-600	.530	8.36	14.7	25.4	38.2	53.4	72.9	95.4	106
2		150-600	.345	8.10	21.6	37.6	54.0	78.0	105	136	173	
3		150-600	2.23	12.7	37.9	73.5	114	159	216	282	372	
4		150-600	3.78	25.9	65.0	117	180	251	332	431	540	
6		150-600	6.80	53.5	131	234	352	485	630	780	970	
8		150-600	9.70	84.0	203	354	540	755	985	1180	1450	
10		150-300	27.2	163	369	655	975	1350	1780	2230	2720	
12		150	38.9	174	394	680	1010	1360	1710	2110	2590	
12		150-300	82.0	289	665	1130	1680	2320	3000	3710	4440	
C ₁		1	150-600	---	37.1	33.4	31.5	29.8	29.0	27.4	24.9	25.9
		1-1/2	150-600	25.7	33.6	36.7	32.4	29.8	28.2	26.9	20.1	20.6
	2	150-600	21.2	34.2	33.9	32.3	28.7	26.8	25.8	24.3	21.2	
	3	150-600	29.9	34.0	34.0	33.0	30.8	27.9	26.3	24.1	20.0	
	4	150-600	32.9	29.9	32.3	31.4	29.6	26.1	25.9	23.2	18.8	
	6	150-600	29.3	35.4	33.2	31.6	30.5	29.3	27.2	23.5	18.7	
	8	150-600	34.3	35.1	33.8	31.5	30.5	29.5	28.3	19.8	18.8	
	10	150-300	35.0	35.0	30.1	30.4	29.5	27.8	26.3	23.9	17.5	
	12	150	33.6	34.7	33.3	32.3	31.2	29.6	28.3	25.4	20.2	
	12	150-300	31.6	29.4	30.1	29.1	27.8	26.2	25.3	18.0	18.1	

TABLA A-18

DISEÑO VLOO FLUJO NORMAL
 SELLO DE BOLA DE METAL
 SELLO DE BOLA TCM Y
 ANILLO DE FLUJO
 (APROXIMADAMENTE CARACTERISTICA
 DE IGUAL PORCENTAJE)
 $d/D = 0.66$

C	d	Clase	Rotación, grados									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	
C ₁ (Líquido)	1	150-600	0	.347	2.27	5.34	9.34	14.0	19.6	26.4	28.1	
	1-1/2 ⁽¹⁾	150-600	.412	3.29	8.02	15.6	25.5	37.0	51.3	61.7	66.6	
	2	150-600	.326	4.73	12.7	23.2	38.4	56.3	76.4	99.8	131	
	3 ⁽²⁾	150-600	1.49	7.44	22.3	44.5	73.1	112	157	222	311	
	4	150-600	2.30	17.3	40.2	73.8	119	173	235	333	457	
	6 ⁽³⁾	150-600	4.64	30.2	78.9	148	230	326	450	625	1040	
	8	150-600	5.66	47.8	120	224	351	503	723	1080	1490	
	10 ⁽⁴⁾	150-300	18.6	93.0	245	429	653	944	1290	1710	2520	
	12	150	23.1	100	236	420	645	899	1190	1610	2290	
	12	150-300	39.3	196	441	771	1190	1590	2230	3390	3940	
	K ₁₀	1	150-600	---	.90	.85	.80	.74	.74	.74	.74	.74
		1-1/2	150-600	---	.88	.87	.83	.78	.72	.65	.60	.55
2		150-600	---	.87	.84	.79	.74	.62	.63	.55	.46	
3		150-600	---	.80	.78	.75	.72	.67	.60	.54	.48	
4		150-600	---	.87	.84	.79	.74	.68	.60	.50	.37	
6		150-600	---	.75	.75	.74	.70	.63	.52	.41	.31	
8		150-600	---	.83	.81	.77	.71	.61	.46	.36	.28	
10		150-300	---	.81	.81	.78	.73	.66	.58	.47	.33	
12		150	---	.82	.87	.81	.77	.73	.69	.56	.36	
12		150-300	---	.82	.83	.73	.67	.60	.52	.43	.33	
C ₂ (Gas)		1	150-600	0	13.1	75.8	167	276	397	523	637	697
		1-1/2 ⁽¹⁾	150-600	10.6	127	294	503	743	1020	1340	1650	1780
	2	150-600	6.90	162	430	745	1100	1500	1950	2420	2900	
	3 ⁽²⁾	150-600	44.6	293	757	1450	2240	3090	4100	5300	6480	
	4	150-600	75.6	518	1300	2320	3550	4880	6340	8000	9640	
	6 ⁽³⁾	150-600	136	1070	2620	4680	6960	9560	12300	15000	18400	
	8	150-600	194	1680	4050	7060	10700	14900	19200	22300	27400	
	10 ⁽⁴⁾	150-300	652	3260	7370	13000	19300	26300	34200	42100	50000	
	12	150	777	3470	7860	13600	20100	26700	33700	41100	50000	
	12	150-300	1240	5770	13300	22400	33100	45000	57200	69200	80600	
	C ₃ (Steam)	1	150-600	0	.655	3.79	8.35	13.8	19.9	29.2	31.9	34.8
		1-1/2 ⁽¹⁾	150-600	.530	8.35	14.7	25.2	37.2	51.0	67.0	82.5	89.0
2		150-600	.345	8.10	21.5	37.3	55.0	75.0	97.5	121	145	
3 ⁽²⁾		150-600	2.23	12.7	37.9	73.0	112	155	205	267	324	
4		150-600	3.78	25.9	65.0	116	178	244	317	400	482	
6 ⁽³⁾		150-600	6.80	53.5	131	234	349	478	615	750	820	
8		150-600	9.70	84.0	203	353	535	745	960	1120	1370	
10 ⁽⁴⁾		150-300	32.6	163	369	650	965	1320	1710	2110	2500	
12		150	38.9	174	393	680	1010	1340	1620	2060	2500	
12		150-300	62.0	229	665	1120	1660	2250	2890	3460	4000	
C ₁		1	150-600	---	37.8	33.4	31.3	29.8	28.4	26.7	24.1	24.8
		1-1/2 ⁽¹⁾	150-600	25.7	38.6	36.7	32.2	29.1	27.6	26.1	20.5	20.2
	2	150-600	21.2	34.2	33.9	32.1	28.6	26.6	25.5	24.2	22.1	
	3 ⁽²⁾	150-600	29.9	34.0	33.9	32.8	30.6	27.6	26.1	24.0	20.8	
	4	150-600	32.9	29.8	32.3	31.4	29.8	28.2	27.0	24.0	21.1	
	6 ⁽³⁾	150-600	29.3	35.4	33.2	31.6	30.3	29.3	27.3	24.0	17.7	
	8	150-600	34.3	35.1	33.8	31.5	30.5	29.6	26.8	20.8	16.4	
	10 ⁽⁴⁾	150-300	33.1	35.1	30.1	30.3	29.6	27.8	26.8	24.8	18.8	
	12	150	33.8	34.7	33.3	32.4	31.2	29.7	28.3	26.3	20.8	
	12	150-300	31.6	29.4	30.2	29.1	27.6	26.5	25.7	20.4	20.5	

NOTA 16

TABLA A-19

DISEÑO V100, FLUJO NORMAL
 SELLO DE BOLA DE METAL
 SELLO DE BOLA TCM Y
 ANILLO DE FLUJO
 (APROXIMADAMENTE CARACTERISTICA
 DE IGUAL PORCENTAJE)
 $d/D = 0.5$

C	d	Clase	Rotación, grados									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	
C ₂ (Líquido)	1-1/2	150-600	0	.347	2.27	5.32	9.23	13.7	18.7	24.2	25.5	
	2	150-600	.412	3.29	8.00	15.5	24.9	35.3	47.1	67.3	70.0	
	3	150-600	.328	4.73	12.7	23.0	37.8	54.3	71.6	90.2	111	
	4	150-600	1.49	7.44	22.3	44.2	72.0	108	147	196	249	
	6	150-600	2.30	17.3	40.2	73.5	118	169	225	306	364	
	8	150-600	4.64	30.2	78.8	147	228	320	432	578	912	
	10	150-300	5.58	47.8	120	224	349	496	701	1020	1330	
	12	150	18.6	93.0	244	429	648	931	1260	1840	2310	
	12	150	23.1	100	236	419	642	890	1170	1560	2240	
	12	150-300	39.3	196	440	785	1170	1540	2110	3000	3360	
	K _m	1	150-600	---	.90	.85	80	74	.74	.74	.74	.74
		1-1/2	150-600	---	.88	.87	83	78	.72	.65	.80	.55
2		150-600	---	.87	.84	79	74	.89	.63	.55	.46	
3		150-600	---	.80	.78	75	72	.87	.60	.54	.46	
4		150-600	---	.87	.84	79	74	.68	.60	.50	.37	
6		150-600	---	.75	.75	74	70	.63	.52	.41	.31	
8		150-600	---	.83	.81	77	71	.81	.66	.56	.38	
10		150-300	---	.80	.81	78	73	.73	.66	.54	.33	
12		150	---	.92	.87	81	77	.73	.89	.55	.36	
12		150-300	---	.82	.83	73	67	.60	.52	.43	.33	
C ₃ (Gas)		1	150-600	0	13.1	75.8	167	275	395	513	621	675
		1-1/2	150-600	10.6	127	283	500	734	995	1280	1580	1870
	2	150-600	8.90	162	429	743	1090	1480	1920	2370	2800	
	3	150-600	44.6	253	756	1460	2220	3050	4000	5130	6120	
	4	150-600	75.6	518	1302	2310	3540	4860	6270	7880	9420	
	6	150-600	136	1070	2810	4660	6960	9500	12,100	14,800	17,800	
	8	150-600	194	1680	4040	7050	10,700	14,800	19,100	22,100	27,100	
	10	150-300	652	3260	7370	13,000	19,200	26,200	34,000	41,700	49,500	
	12	150	777	3470	7860	13,800	20,100	26,700	33,500	40,900	49,800	
	12	150-300	1240	5770	13,300	22,400	33,000	44,700	58,900	68,700	78,900	
	C ₁ (Steam)	1	150-600	0	.655	3.79	8.35	13.7	19.7	25.8	31.0	32.7
		1-1/2	150-600	.530	6.36	14.6	25.0	36.7	49.7	64.0	78.0	83.5
2		150-600	.345	8.10	21.4	37.1	54.5	74.0	96.0	118	140	
3		150-600	2.23	12.7	37.8	73.0	111	153	202	257	308	
4		150-600	3.78	25.9	65.0	116	177	243	314	393	471	
6		150-600	6.80	53.5	131	233	348	475	605	740	885	
8		150-600	9.70	84.0	202	353	535	740	955	1110	1360	
10		150-300	32.6	163	399	650	960	1310	1700	2080	2480	
12		150	38.9	174	393	680	1010	1340	1670	2050	2460	
12		150-300	62.0	289	655	1120	1650	2240	2830	3410	3880	
C ₁		1	150-600	---	37.1	33.4	31.4	29.6	28.6	27.4	25.7	26.1
		1-1/2	150-600	25.7	36.6	36.6	32.3	29.6	28.2	27.2	23.2	23.6
	2	150-600	21.2	34.2	33.8	32.3	28.8	27.3	26.7	26.3	25.2	
	3	150-600	29.9	34.0	33.9	33.0	30.8	28.2	27.2	26.2	24.6	
	4	150-600	32.9	29.9	32.3	31.4	30.0	28.7	27.9	25.7	23.8	
	6	150-600	29.3	35.4	33.1	31.7	30.5	29.7	28.0	25.6	19.6	
	8	150-600	34.3	35.1	33.7	31.5	30.7	29.8	27.2	21.7	20.4	
	10	150-300	35.1	35.1	30.2	30.4	29.6	28.1	27.0	25.4	21.4	
	12	150	33.6	34.7	33.3	32.5	31.3	30.0	28.6	26.2	22.1	
	12	150-300	31.6	29.4	30.2	29.3	28.2	29.0	26.8	22.7	23.5	

NOTA 17



TABLA A-20

DISEÑO V100, CAJA CAVITROL Y
 FLUJO NORMAL, SELLO DE BOLA
 DE METAL, SELLO DE BOLA TCM
 Y ANILLO DE FLUJO
 (APROXIMADAMENTE CARACTERISTICA
 LINEAL)

C	d	Clase	Rotación, grados D=d								D:d	
											1.5:1	2:1 & Over
			50°	56	66	68	70	80	90	90	90	
C ₁₀ (Liquid)	8	150-800	---	74.7	130	192	248	301	358	546	5000	132
	8	150-800	---	110	200	302	407	518	619	888	850	834
	10	150-300	---	217	388	530	681	859	995	1030	1000	967
	12	150-300	---	373	573	791	1010	1280	1490	1470	1430	1400
K ₁₀	8	150-800	---	.78	.73	.76	.73	.66	.62	.54	5.8	.58
	8	150-800	---	.78	.79	.80	.72	.64	.59	.55	5.5	.55
	10	150-300	---	.76	.77	.79	.72	.66	.62	.58	5.8	.58
	12	150-300	---	.84	.80	.78	.71	.67	.64	.62	6.2	.62

NOTA 18, 19

NOTAS

- Nota 1 Para coeficientes de flujo en válvulas con cocientes d/D , mayores que 1, ver los multiplicadores de corrección en la tabla A-4.
Para coeficientes de flujo en válvulas de clase mayor que 300, ver los multiplicadores de corrección en la tabla A-4.
- Nota 2 Si se requiere la corrección por cociente d/D mayor que 1, y por clase mayor que 300, multiplicar el coeficiente de flujo de la tabla A-4 por uno de los multiplicadores y después por el otro factor de corrección.
- Nota 3 Al dimensionar con reguladores auto operables, utilizar los coeficientes listados para 1/4 pg del viaje total.
Al utilizar las válvulas tipo 655-ED o 655-ET, para servicio abierto/cerrado, el viaje máximo para propósitos de dimensionamiento, es 3/4 pg.
- Nota 4 La columna que enlista los valores de K_m y C_v es para el 100% de apertura.
- Nota 5 Los coeficientes mostrados en esta tabla, también son apropiados para las válvulas Diseño EDR, ET y ETR.
- Nota 6 Si los coeficientes mostrados en esta tabla, para el diámetro de 8 pg, para caja lineal con 2 pg de apertura, no son suficientes para las condiciones requeridas, considere utilizar la caja de apertura rápida. La caja de apertura rápida de 8 pg con 2 pg de apertura tiene aproximadamente una característica lineal.
- Nota 7 No se dispone de válvulas Whisper Trim de 6 pg con caja restringida. Utilice la válvula EW cuando se requiera

este tipo de caja.

- Nota 8 El nivel D para caja Whisper Trim III exhibe una característica de igual porcentaje para las primeras 1.5 pg de viaje, después presenta característica lineal.
- Nota 9 Los primeros coeficientes para válvulas con caja Whisper Trim son los mínimos y no representa el 10 % de apertura. Las válvulas no deberán estrangular con un coeficiente menor que éste por un largo periodo de tiempo, ya que puede resultar en erosión y daño de la misma.
- Nota 10 La caja Cavitrol III en 1 pg dos etapas y 2 pg tres etapas, utiliza pistón desbalanceado.
- Nota 11 Las válvulas no deberán operar a un C_v menor que el C_v mín. por un largo periodo de tiempo, ya que puede resultar en erosión y daño del asiento.
- Nota 12 Los coeficientes para válvulas diseño ES son apropiados también para válvulas diseño ESR de 1¹/₂ a 4 pg.
- Nota 13 Para valores de K_m , ver la curva.
- Nota 14 Los coeficientes marcados con doble cruz, son para válvulas de 6 pg en tuberías de 8 pg.
- Nota 15 Los coeficientes marcados con doble cruz, son para válvulas de 10 pg en tubería de 16 pg.
- Nota 16 Para válvulas diseño VICO, $d/D = 0.66$ los diámetros señalados indican:
1) d = 1¹/₂ pg D = 2 pg;
2) d = 3 pg D = 4 pg;
3) d = 6 pg D = 8 pg;
4) d = 10 pg D = 16 pg.
- Nota 17 Para coeficientes d/D menores que 0.5 consulte al

fabricante.

Nota 18 Para válvulas Diseño V100 con caja Cavitrol V, los coeficientes mostrados son cuando la válvula se instala de tal forma que gira hacia la parte superior del cuerpo.

Nota 19 Para válvulas Diseño V100, los índices significan:
2) Esta caja no se recomienda para rotaciones menores que 30 grados.

3) d = 6pg D = 8 pg;

4) d = 10 pg D = 16 pg.

APENDICE B

PRUEBA HIDROSTATICA (lb/pg²)

CLASE	Hidrorstática de casco	Hidrostatíca del asiento
180	425	275
300	1100	720
400	1450	960
600	2175	1440
900	3250	2160
1500	5400	3600
2500	9000	6000

Duración de la Prueba

Diámetro (pg)	Prueba del cuerpo (min)	Prueba del asiento (min)
2 a 4	2	2
6 a 10	5	5
12 a 18	15	10
20 a -	30	15

La presión e prueba no debe variar más de +/- 2% de la presión especificada durante el periodo de prueba.

Ver 3.8.2.2.