

SOFTWARE DE DIMENSIONAMIENTO Y PREDICCIÓN DE LA CARACTERÍSTICA INSTALADA PARA VÁLVULAS DE CONTROL

Ana Milena Borrego, Fabio Castrillón, Rafael Esteban Vásquez

Universidad Pontificia Bolivariana
Grupo de Investigación en Automática y Diseño A+D
Circular primera # 70-01 bloque 11. Medellín, Colombia.
Tel. (+574) 4159020, fax. (+574) 4118779
e-mail: rafavasquez@upb.edu.co

Palabras Clave: válvulas de control, selección y dimensionamiento de válvulas, características de flujo.

Introducción

La característica de flujo de la válvula se define como la relación entre el flujo de salida de la válvula y la posición de apertura de ésta (0-100%).

El tipo de característica que presente una válvula una vez instalada depende exclusivamente de las relaciones de caída de presión entre ésta y la total disponible en el sistema para un flujo dado. Esta relación viene dada por el factor α :

$$\alpha = \frac{\Delta P_v|_Q}{\Delta P_T|_Q}$$

$$\Delta P_T = \Delta P_v|_Q + \Delta P_L|_Q$$

Donde:

$\Delta P_v|_Q$: caída de presión a través de la válvula, para un caudal Q.

ΔP_T : caída de presión dinámica total del sistema, a un valor de caudal Q.

$\Delta P_L|_Q$: caída de presión dinámica en la tubería, accesorios y equipos dentro del sistema (diferentes a la válvula), para un caudal Q.

Existen dos clases de características de flujo según el valor de α :

Característica Inherente de Flujo ($\alpha=1$): se define

como la relación “teórica” entre el flujo de salida de la válvula y la posición de apertura de ésta, cuando la caída de presión a través de la válvula es constante e igual a la caída de presión total del sistema. Esta característica es única para cada tipo de válvula (lineal, isoporcentual y apertura rápida).

Característica Instalada de Flujo $\frac{\Delta P_v|_Q}{\Delta P_T|_Q} < 1$ ó $\alpha < 1$:

es la relación “real” entre el flujo de salida y la posición de apertura, cuando la válvula está en funcionamiento dentro del sistema y la caída de presión a través de ella es menor que la caída de presión total del sistema.

Esta característica depende de la característica inherente y de las condiciones de operación del proceso (caídas de presión, caudal, propiedades físicas del fluido, etc.).

La característica inherente de una válvula se modifica en mayor o menor grado, dependiendo de la razón de las caídas de presión entre la válvula y la total. A medida que α se hace más pequeño, una válvula de característica inherente isoporcentual tiende a ser lineal, y una característica inherente lineal tiende a ser de apertura rápida.

Una válvula de control dentro de un sistema puede mantener, corregir o empeorar la linealidad del lazo de control, dependiendo de la característica de flujo que exhiba, una vez instalada en el proceso.

Es por esta razón que el ingeniero de control debe analizar en detalle cuál será la curva de ganancia real de la válvula y la del sistema -antes de adquirir una determinada característica inherente-, buscando que esta última "compense" las no-linealidades del lazo.

El programa desarrollado en Visual Basic 6.0 permite comprobar cómo los parámetros de diseño de una válvula (caudal máximo, rango de operación, y característica inherente) varían de acuerdo a las condiciones de operación del proceso. Un gráfico muestra cómo la característica instalada se desvía de la inherente a medida que el parámetro α se hace más pequeño. Así mismo el usuario puede dimensionar cualquier tipo de válvula (lineal, isoporcentual y de apertura rápida) ingresando las variables operativas y un factor de sobredimensionamiento.

Metodología

Se tienen las ecuaciones para las condiciones inherentes y de instalación de una válvula de control. Ambas parten de la ecuación general para la característica de una válvula de control.

Característica Inherente

La ecuación para la característica de flujo inherente se deriva de la expresión para el caudal a través de la válvula, teniendo en cuenta que la caída de presión a través de ésta, para este caso, no depende del caudal (ΔP_v constante).

$$Q(\text{gpm}) = C_{v\text{max}} f(x^*) \sqrt{\frac{\Delta P_v}{G_f}} \quad (1)$$

Donde:

$C_{v\text{max}}$: capacidad máxima de flujo de la válvula, $\text{gpm} / \text{psi}^{1/2}$

$f(x^*)$: función que determina la característica inherente de la válvula.

G_f : gravedad específica del fluido a la temperatura de flujo.

La Tabla 1 muestra la función $f(x^*)$ para cada tipo de válvula.

Tabla 1. Tipo de función $f(x^*)$ según la característica inherente de la válvula

Tipo de Válvula	$f(x^*)$
Lineal	x^*
Isoporcentual	$R^{(x^*-1)}$
Apertura Rápida	$\sqrt{x^*}$

Donde:

R: parámetro de rango de la válvula.

$x^* = \frac{x}{x_T}$: fracción de apertura de la válvula.

x: carrera del vástago.

x_T : carrera total del vástago.

Si se evalúa esta expresión para flujo máximo ($Q=Q_{\text{max}}$, $f(x^*)=1$), se tiene que:

$$Q_{\text{max}}(\text{gpm}) = C_{v\text{max}} \sqrt{\frac{\Delta P_v}{G_f}}$$

Dividiendo el caudal Q entre Q_{max} se tiene la expresión para la característica inherente de la válvula:

$$\frac{Q}{Q_{\text{max}}} = f(x^*)$$

Característica de Instalación

Para obtener la expresión matemática de la característica instalada de una válvula de control, se realizaron las siguientes suposiciones:

- Flujo turbulento
- Caída de presión total constante (bomba de cabeza plana).

De la mecánica de fluidos, la caída de presión a través de una línea en régimen turbulento viene dada por:

$$\Delta P_L |_Q = K_L G_f Q^2 \quad (2)$$

Donde:

K_L : constante que cuantifica las pérdidas por fricción debidas a accesorios, equipos y fricción en la tubería.

Para régimen turbulento:

$$K_L = \frac{\Delta P_L}{G_f Q^2}$$

$$\Delta P_T = \Delta P_V|_Q + \Delta P_L|_Q = \text{cte} \quad (3)$$

Reemplazando (1) y (2) en (3) se obtiene:

$$\Delta P_T = \frac{G_f Q^2}{C_{v\max}^2 f^2(x^*)} + K_L G_f Q^2$$

$$Q = \sqrt{\frac{\Delta P_T}{G_f \left(\frac{1}{C_{v\max}^2 f^2(x^*)} + K_L \right)}} \quad (4)$$

Este es el caudal "instalado" a través de una válvula de control. La expresión demuestra que su valor no depende únicamente de la fracción de apertura de la válvula x^* (y por lo tanto de su caída de presión), sino también de las pérdidas dinámicas en la línea.

Evaluando el caudal para flujo máximo ($Q=Q_{\max}$, $f(x^*)=1$),

$$Q_{\max} = \sqrt{\frac{\Delta P_T}{G_f \left(\frac{1}{C_{v\max}^2} + K_L \right)}} \quad (5)$$

Dividiendo (4) entre (5), se llega a:

$$\therefore \frac{Q}{Q_{\max}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{C_{v\max}^2} + K_L \right)}{\left(K_L + \frac{1}{C_{v\max}^2 f^2(x^*)} \right)}}$$

La relación Q/Q_{\max} determina la característica de instalación de la válvula. Se puede observar que cuando las pérdidas en la línea son despreciables ($K_L \approx 0$), la característica instalada se convierte en la inherente, conservándose la curva del fabricante para una caída de presión dada.

Rango de operación

El rango de operación se define como la relación entre el caudal mínimo y máximo controlables que tiene una válvula. Usualmente el caudal máximo se da para un 95% apertura del vástago, y el flujo mínimo para un 5% respectivamente.

Inherente

Evaluando (1) a caudal máximo y mínimo, y teniendo en cuenta que para condiciones inherentes la caída de presión en la válvula es constante, se tiene que:

$$\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} = \frac{f(x^* = 0.95)}{f(x^* = 0.05)}$$

Instalado

Evaluando la expresión para el flujo de instalación en $x^*=0.95$ y 0.05 respectivamente, y de la expresión para K_L , se tiene:

$$\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} = \frac{f(x^* = 0.95)}{f(x^* = 0.05)} \times \sqrt{\frac{G_f Q_{op}^2 + \Delta P_L|_{Q_{op}} f^2(x^* = 0.05)}{G_f Q_{op}^2 + \Delta P_L|_{Q_{op}} f^2(x^* = 0.95)}}$$

Se observa el rango de operación de instalación siempre será menor o igual al inherente; es por esta razón que una válvula de control se debe sobredimensionar, con el fin de lograr un control lineal en un amplio rango de valores de caudal.

Capacidad de operación de diseño de la válvula de control

La capacidad de operación ($C_{v\text{op}}$) se define como los galones por minuto de agua que pueden pasar a través de una válvula con una fracción de apertura x^* y con una caída de presión de 1 psi.

$$C_{v\text{op}} = C_{v\max} f(x^*) \quad (6)$$

Reemplazando (1) en (6), se llega a:

$$C_{v\text{req}} = C_{v\text{op}} \cdot \text{factor}$$

Para fines de dimensionamiento, la capacidad de diseño o capacidad requerida ($C_{v\text{req}}$) de la válvula debe ser mayor que $C_{v\text{op}}$.

El valor para el factor de sobredimensionamiento se puede fijar a partir de recomendaciones prácticas. El comprador debe elegir una válvula comercial cuya capacidad sea mayor o igual al $C_{v\text{req}}$ calculado.

Resultados y Discusión

Uso del programa e ilustración de las condiciones inherentes e instaladas de una válvula de control

El sistema de control de nivel que se muestra en la Figura 1, tiene los siguientes parámetros de operación:

Caudal: 700 gpm.

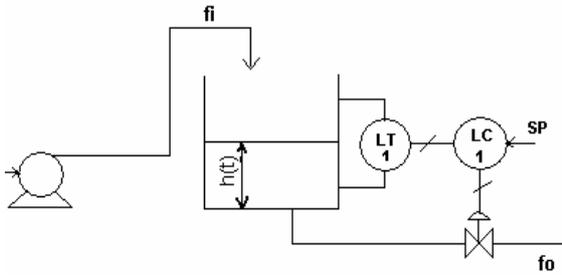
Caída de presión total: 12 psi

Caída de presión en la línea: 5 psi

Gravedad específica del fluido: 0.94

El tipo de válvula es lineal.

Figura 1. Sistema de control de nivel



Ingresando los datos anteriores, el programa calcula los siguientes datos para la válvula de control:

- Caída de presión
- Capacidad de operación
- Capacidad de operación diseño requerida (ingresando un factor de sobredimensionamiento de 1.3)
- El caudal máximo y la habilidad de rango inherente e instalada son también calculados.

El usuario puede observar cómo la gráfica de la característica instalada se desvía de la inherente de acuerdo a la relación de caídas de presión entre la válvula y la total (P_v/P_T en la pantalla).

Figura 2. Ingreso de datos, cálculo de condiciones de operación y dimensionamiento de la válvula de control.

Ingreso de Datos

Tipo de Válvula

- Lineal
- Logarítmica
- Abertura Rápida

Condiciones de Operación

Caudal de Operación: 700 gpm Cv operación = 556.52 gpm / (psi)^{0.5}

Gravedad específica Gf: 0.94

Caídas de Presión

Total: 12 psi

Línea: 5 psi

Válvula: 7.00 psi

[Botón: Borrar caídas de presión] [Botón: Borrar condiciones operación]

Dimensionamiento

Factor de sobredimensionamiento: 1.3

Cv máximo requerido = 552.80 gpm / (psi)^{0.5}

Introduzca el valor de Cvmax del fabricante a partir del Cvmax requerido calculado: 341 gpm / (psi)^{0.5}

[Botón: Condiciones de Instalación] [Botón: Graficar característica inherente e Instalada]

Figura 3. Cálculo de condiciones inherentes e instaladas de la válvula de control

VÁLVULAS DE CONTROL - Condiciones Instaladas Vs. Inherentes

Condiciones de Instalación

Qmax = 808.99 gpm

Habilidad de Rango = 13.03

Condiciones Inherentes

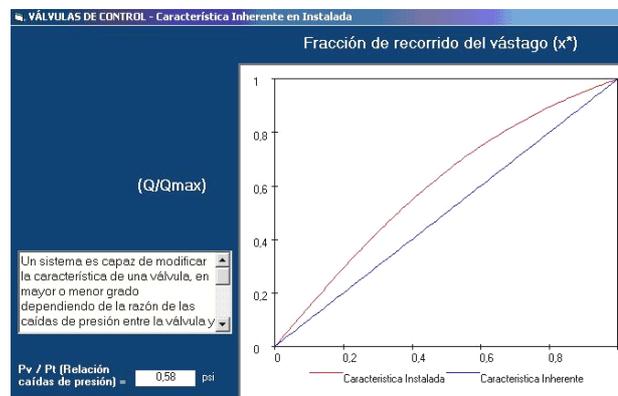
Qmax = 910.00 gpm

Habilidad de Rango = 19.00

Se puede observar que el caudal máximo real (instalado) que ofrece la válvula para las condiciones de instalación es siempre menor o igual que el teórico (inherente). Por esta razón una válvula de control se debe sobredimensionar a partir del Cv máximo requerido

[Botón: Graficar Característica Inherente e Instalada]

Figura 4. Desviación de la característica inherente e instalada según la relación de caídas de presión entre la válvula y el sistema.



Conclusiones

Las válvulas son los elementos finales de control más comunes que se encuentran en los procesos industriales, por lo tanto de su adecuado dimensionamiento, depende su correcta operación en el proceso para el cual son seleccionadas.

La característica instalada de una válvula de control cambia considerablemente con las condiciones de operación del proceso, por lo tanto su ganancia está cambiando y de esta forma se afectan los parámetros de operación de todo el sistema automático de control.

Es necesario predecir la característica instalada de la válvula a partir de la característica inherente y de las condiciones de operación que tiene el proceso. Al ser un proceso dispendioso, el uso de herramientas informáticas para el diseño se hace deseable para disminuir el tiempo de selección y para garantizar una adecuada operación en el futuro.

Un correcto dimensionamiento de una válvula de control puede garantizar las características lineales de todo el sistema, al hacer uso de la predicción de la característica instalada para corregir otras no-linealidades que existan en los diferentes componentes.

El trabajo actual fue desarrollado para cuando la bomba del proceso es de cabeza plana, por lo tanto se va a desarrollar una ampliación del trabajo sobre la plataforma propuesta, con el fin de incluir la posibilidad de que el usuario ingrese la curva de la bomba, a partir de datos experimentales obtenidos en planta o que provengan del fabricante.

Adicionalmente se van a implementar las ecuaciones necesarias para que pueda hacerse la predicción de la característica instalada en válvulas que manejen fluidos compresibles, esto es, gases y vapores.

Bibliografía

1. Anaya, A. (1995). Dimensionamiento de válvulas de control. Parte II. In: *Ingeniería Química*. Madrid. Vol. 27, No. 309; p. 169-173.
2. Ceballos, F. (1997). *Enciclopedia de Visual Basic 4*. México: Alfaomega.
3. Metcalf, J. (1999). Válvulas de control y

variabilidad del proceso. In: *Ingeniería Química*. Madrid. Vol. 31, No. 359; p. 127-134

4. Siler, B. y Spotts, J. (1999). *Visual Basic 6*. Madrid: Prentice Hall.

5. Smith, C. y Corripio, A. (1997). *Principles and practice of automatic process control*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.