

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

TRABAJO DE DIPLOMA

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA SELECCIÓN Y
DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS DE CONTROL DE VAPOR DE
SELLAJE**

Autor: Juan Carlos Pupo Reyes

Primer Tutor: **M. Sc.** Juan Carlos Álvarez Rodríguez, Prof. Asistente

Segundo Tutor: **Ing.** Juan Carlos Peña Céspedes

AÑO: 2021

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, mi hermano, mi esposa y familiares

A mis tutores

A Martica y Rafa

A mis amigos

A mis profesores

DEDICATORIA

A mi bebé, que aunque no ha nacido, es mi inspiración

A mis padres, mi hermano, mi esposa y familiares

A todas las personas que han estado a mi lado en este largo camino

Y en especial a mi abuela Josefa que ya no se encuentra entre nosotros.

RESUMEN

El presente trabajo se propone como objetivo seleccionar y dimensionar las válvulas de control de vapor de sellaje. Se realizó una revisión bibliográfica sobre el tema y luego de reunir ciertos conocimientos se pasó al estudio del dispositivo, que forma parte del sistema de vapor de sellaje de la Turbina de 250 MW de la Empresa Termoeléctrica (ETE) Lidio Ramón Pérez de Felton. La primera base de elección está basada en la función de la válvula, para seleccionarla tenemos que considerar aspectos como la cavitación, la presión, la temperatura, entre otras variables. El dimensionado de la válvula se realizará de acuerdo al caudal de circulación en línea y otros factores del proceso. Es por ello que el personal a cargo de la selección de la válvula tiene muy poco margen de maniobra, estando aquí la dificultad de esta tarea: la correcta selección de la válvula para el proceso adecuado. Su historia y desarrollo se utilizará para el estudio de los distintos tipos de válvulas y formas de explotación. La consulta con expertos en la materia, nos permitirá que la investigación tenga en cuenta los conocimientos de especialistas que trabajan directamente con el equipo estudiado. Se propone una metodología para la selección y dimensionamiento de las válvulas de control, para un mejor desempeño de la Turbina de 250 MW. Se ha realizado una valoración del impacto económico que tiene para la ETE la utilización de una metodología que permita escoger estas válvulas de forma correcta y eficiente.

SUMMARY

The objective of this work is to select and size the sealing vapor control valves. A bibliographic review was carried out on the subject and after gathering certain knowledge, we went on to study the device, which is part of the sealing steam system of the 250 MW Turbine of the Thermoelectric Company (ETE) Lidio Ramón Pérez de Felton. The first basis of choice is based on the function of the valve, to select it we have to consider aspects such as cavitation, pressure, temperature, among other variables. The sizing of the valve will be carried out according to the flow of circulation in line and other factors of the process. That is why the personnel in charge of the selection of the valve have very little room for maneuver, here being the difficulty of this task: the correct selection of the valve for the appropriate process. Its history and development will be used for the study of the different types of valves and forms of exploitation. Consultation with experts in the field will allow the investigation to take into account the knowledge of specialists who work directly with the team studied. A methodology is proposed for the selection and sizing of the control valves, for a better performance of the 250 MW Turbine. An assessment of the economic impact of the use of a methodology that allows these valves to be chosen correctly and efficiently has been carried out for the ETE.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. GENERALIDADES SOBRE LA SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS DE CONTROL	6
1.1 Conceptos generales de válvulas de control.....	6
1.1.1 Tipos de Válvulas.....	7
1.1.2 Componentes de una válvula	14
1.1.3 Terminología referente a funciones y características de las válvulas de control	16
1.2 Selección y Dimensionamiento de válvulas.	18
1.2.1 Selección de válvulas de control.....	18
1.2.2 Requisitos de procedimiento y proceso	19
1.2.3 Parámetros para la Selección.	22
1.2.4 Proceso de dimensionamiento	23
1.2.5 Principio de Bernoulli.	26
1.2.6 Mantenimiento de las válvulas.	27
CAPITULO II: METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS DE CONTROL	29
2.1 Caracterización de la Empresa Termoeléctrica (ETE) Lidio Ramón Pérez de Felton	29
2.2. Proceso de selección de una válvula de control	33
2.2.1 Ejemplo de selección de una válvula.....	36
2.3. Proceso de dimensionamiento de una válvula	38
2.3.1. Dimensionamiento de válvulas para fluido compresible.....	41
2.3.2. Problema de ejemplo de dimensionamiento de vapor sobrecalentado.---	45
2.4. Proceso de selección y dimensionamiento de la válvula de vapor de sellaje SG11S201	48

2.4.1 Selección de la válvula -----	48
2.4.2. Dimensionamiento de la válvula -----	50
2.5. Valoración económica y de impacto ambiental -----	53
CONCLUSIONES -----	56
RECOMENDACIONES -----	57
BIBLIOGRAFÍA-----	58
ANEXOS -----	60

INTRODUCCIÓN

Las plantas de procesamiento modernas utilizan una amplia red de bucles de control con el fin de crear un producto final para el mercado. Dichos bucles de control se diseñan para mantener una variable de proceso (presión, flujo, nivel, temperatura) dentro del rango operativo requerido para garantizar la elaboración de un producto final de calidad. Cada uno de esos bucles recibe y genera internamente perturbaciones que afectan negativamente a la variable de proceso (VP). La interacción con otros bucles de la red también provoca perturbaciones que influyen en la variable de proceso.

(Creus, 2010) refirió que los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de servicios: la fabricación de los productos derivados del petróleo, de la industria alimentaria, la cerámica, las centrales generadoras de energía, la siderurgia, el tratamiento térmico, la industria papelera, la industria textil, etc.

Para reducir el efecto de esas perturbaciones de carga, los sensores y transmisores recopilan información sobre la variable de proceso (VP) y su relación con algún punto de ajuste preferido. Un controlador procesa esa información y decide la acción necesaria para devolver la variable de proceso al punto debido tras producirse una perturbación de carga. Cuando se han realizado todas las mediciones, comparaciones y cálculos, algún tipo de elemento de control final debe implementar la estrategia seleccionada por el controlador. El elemento de control final más habitual en las industrias de control de procesos es la válvula de control.

La idea primigenia de la válvula probablemente aconteció cuando estos simples agricultores notaron que un árbol caído o los restos de escombros frenaban o cambiaban la dirección del fluido del agua. Así surgió el concepto de utilizar barreras artificiales, para desviar el agua hacia los campos cercanos, con el tiempo esta idea se expandió a un riego simple utilizando una serie planificada de zanjas y canales, que mediante el uso de la gravedad podría transportar, almacenar y ampliar el alcance de la fuente de agua.

Un elemento importante de estos primeros sistemas de riego fue una barrera de madera o piedra, que podría colocarse en la entrada de cada canal de riego. Esta barrera fue el progenitor temprano de lo que ahora comúnmente llamamos la válvula de compuerta la cual podía usarse para detener el flujo o desviar el flujo a otros canales, o cuando se colocaba en una posición entre cerrado y completamente abierto podría regular la cantidad de agua que entra en el canal aguas abajo.

La máquina de vapor Corliss, revelada en 1876, incluía en su diseño sofisticadas válvulas de control auto accionables, y por primera vez introdujo las válvulas de globo lineales, algunas de las cuales tienen un aspecto similar a las de hoy en día. El descubrimiento del petróleo crudo como una forma abundante y económica de energía siglo XIX originó la creación de la refinería de petróleo. Lo que llevó al desarrollo de productos químicos, petroquímicos, papel, y plantas de procesamiento de alimentos y bebidas, creando la necesidad de poseer cientos de válvulas de proceso en cada planta.

La electricidad como fuente de energía llevó a la creación de carbón, termoeléctricas y eventualmente centrales nucleares, que propiciaron el uso de válvulas no solo en aplicaciones simples de agua y vapor sino también de las aplicaciones de servicio severo que involucraron altas caídas de presión y cavitación posterior, tapajuntas, y estrangulamiento (Campos, 2014). Antes de la década de 1930, casi todas las válvulas en las plantas de proceso eran manuales, lo que requería que los trabajadores abrieran y cerraran las válvulas a mano según las necesidades del proceso.

Obviamente, esto daba lugar a una lenta capacidad de respuesta, ya que un trabajador tenía que correr o pedalear en bicicleta desde la válvula hasta la zona de control. A su vez, el operario hacía una estimación de la posición de la válvula lo que aportaba una menor precisión en situaciones de regulación. Debido a esta situación, durante esa década aparecieron las primeras válvulas de control automatizadas que enviaban señales neumáticas a las válvulas y ajustaban su posición sin necesidad de intervención humana.

Hoy en día, la industria global de válvulas cubre a cientos de fabricantes globales, quienes producen miles de diseños de válvulas manuales, retención, seguridad y control. Los diseños modernos de válvulas van desde las simples válvulas de

compuerta, similares en función a las utilizadas por los primeros egipcios a las sofisticadas válvulas de control con microprocesadores incorporados.

(Álvarez, 2005) expresó que la válvula de control manipula un líquido en circulación, como gas, vapor, agua o compuestos químicos para compensar las perturbaciones de carga y mantener la variable de proceso regulada lo más cercana posible al punto de ajuste deseado. La válvula de control es una parte crítica del bucle de control. El conjunto de válvula de control consiste típicamente en el cuerpo de la válvula, las piezas de los internos, un actuador que aporta la fuerza motriz para operar la válvula, y una variedad de accesorios adicionales de válvula, que pueden ser transductores, reguladores de presión de suministro, operadores manuales, amortiguadores o disyuntores.

Hay dos tipos principales de diseño de válvula de control, dependiendo del elemento de cierre: vástago deslizante o rotativo. Las válvulas de vástago deslizante, utilizan movimiento lineal para desplazar un elemento de cierre hacia dentro y hacia fuera de la superficie de asiento. Las válvulas rotativas, utilizan movimiento giratorio para desplazar un elemento de cierre hacia dentro y hacia fuera de la superficie de asiento (Emerson, 2019).

La selección y cálculo de las válvulas no solo depende de unas hojas de datos, más o menos bien elaboradas. Es necesario tocar diversos aspectos que el técnico o instrumentista debe conocer para tenerlos en cuenta y valorar su incidencia en ese proceso de cálculo y selección. Este proceso no es lineal y progresivo, sino tortuoso, debiendo considerar muchos factores hasta llegar a una solución óptima. Seleccionar una válvula no es solo calcularla, sino encontrar el cuerpo, el actuador que dé las prestaciones óptimas para cada lazo de control que se trata de automatizar.

Dentro de las fases de la investigación fueron encontradas algunas insuficiencias tales como: la válvula adquirida no permite la evacuación del flujo de vapor de sellaje de la Turbina de 250 MW; los parámetros reales de explotación no concuerdan con los parámetros calculados, y el coeficiente de flujo para la válvula totalmente abierta (K_{vs}) calculado de la válvula SG11S201 es mayor que el K_{vs} de la válvula ofertada; por lo que esta tiene que operar abierta completamente y no puede evacuar el

caudal máximo. La causa fundamental de estas insuficiencias es la no existencia de una metodología para la selección y el dimensionamiento de las válvulas de control en la ETE Lidio Ramón Pérez.

El análisis realizado revela una contradicción entre los ingenieros que trabajan en las plantas y los fabricantes de la válvula de control, ya que al no concordar los parámetros proyectados con los reales de explotación estas no pueden ser utilizadas eficazmente por las empresas y trae consigo una razonable pérdida económica. Situación problemática que permitió identificar el siguiente **Problema Científico**: ¿Cómo perfeccionar la selección y el dimensionamiento de las válvulas de control de vapor de sellaje, que incida en un mejor desempeño de la turbina de 250 MW en la ETE Lidio Ramón Pérez?

El problema se revela en el siguiente **Objeto de estudio**: El proceso de selección y dimensionamiento de las válvulas de control de vapor de sellaje en la ETE Lidio Ramón Pérez.

Objetivo General: Elaborar una metodología para seleccionar y dimensionar las válvulas de control de vapor de sellaje, que contribuya a un mejor desempeño de la turbina de 250 MW en la ETE Lidio Ramón Pérez.

Por tanto se concreta como **Campo de acción**: Las válvulas de control de vapor de sellaje requeridas para la evacuación del flujo en la turbina de 250 MW

La **Hipótesis** de la investigación se concreta en que: La aplicación de una metodología basada en la selección y el dimensionamiento de las válvulas de control permitirá un mejor desempeño de la turbina de 250 MW en la ETE Lidio Ramón Pérez.

Las **Tareas** desarrolladas para cumplimentar el *objetivo* y corroborar la *hipótesis* fueron:

1. Realización de una revisión bibliográfica actualizada de las válvulas de control.
2. Elaboración de una metodología para la selección y el dimensionamiento de las válvulas de control.

3. Realización el análisis costo beneficio de las válvulas de control.
4. Elaboración del informe final de la tesis.

La lógica investigativa asumida en la solución de las tareas posibilitó utilizar los siguientes métodos de investigación.

Nivel Teórico:

Análisis y síntesis: se empleó en la revisión y consulta de la bibliografía especializada sobre el tema.

Histórico-lógico: Se utilizó para el estudio de los distintos tipos de válvulas, formas de explotación y mal uso de estas herramientas.

Nivel Empírico:

Consultas a expertos: permite que la investigación tenga en cuenta los conocimientos de especialistas que trabajan directamente con el equipo estudiado.

Observación: se realiza para detectar y analizar las características de trabajo de las partes que conforman el equipo.

Revisión y análisis de documentos: se realizó para la recopilación y análisis de la información sobre el problema, antecedentes y estado actual.

En esta investigación se resalta como **contribución a la teoría**: la propuesta de una metodología para la selección y el dimensionamiento de las válvulas de control de vapor de sellaje en la turbina de 250 MW de la ETE Lidio Ramón Pérez; la cual servirá como material de consulta a los ingenieros, técnicos y operarios de herramientas de control automático, además que sea aplicable en el proceso docente educativo tanto en el pregrado como en el posgrado.

Estructura del informe: El trabajo está estructurado por una introducción donde se hace una breve reseña histórica acerca del origen de las válvulas de control, y se plantea el problema, objeto, objetivo, campo de acción, la hipótesis y las tareas de investigación. Dos capítulos: Capítulo 1. Generalidades sobre la selección y dimensionamiento de válvulas de control. Capítulo 2. Metodología para la selección y dimensionamiento de válvulas de control. Conclusiones y Recomendaciones. Bibliografía y Anexos. Cuenta con 15 figuras y 9 tablas.

DESARROLLO

CAPÍTULO I. GENERALIDADES SOBRE LA SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS DE CONTROL

1.1 Conceptos generales de válvulas de control

Una válvula es un dispositivo mecánico, cuya función principal, es la de bloquear o regular el paso de fluido, una tubería o recipiente sujeto a presión. Básicamente, una válvula es un dispositivo que consiste, de un cuerpo, que provee un medio para conectarse a una tubería; un vástago, un asiento, un disco, una tapa o bonete, un dispositivo para operar el vástago y alguna forma de empaque para prevenir cualquier fuga alrededor del vástago cuando este sea operado. Su uso correcto permite dosificar de manera precisa uno o varios componentes en un proceso determinado. Entre las funciones se puede destacar el control del paso de fluidos a través de una tubería y bloquear el paso de un fluido de manera segura. (Ortega, 2010).

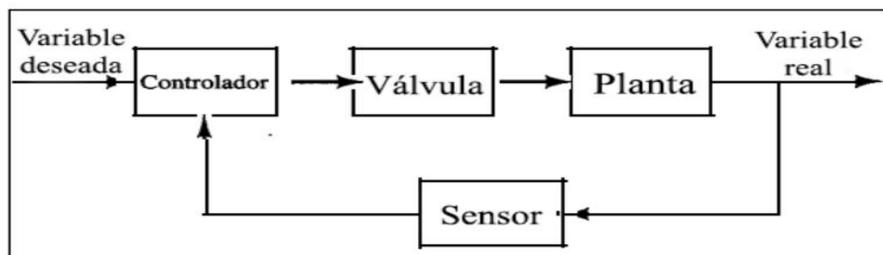


Fig. 1: Diagrama de bloques de un sistema de control.

Principio de funcionamiento:

Las válvulas son elementos cuyo funcionamiento se basa en un concepto simple, que consiste en la colocación de un disco móvil de superficies pulidas, sobre un asiento fijo también de superficies pulidas, de manera que al quedar totalmente en contacto el disco con el asiento, proporcionan un sello hermético (Ortega, 2010).

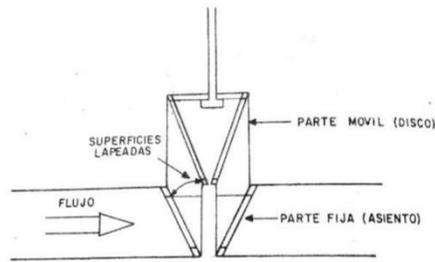


Fig. 2: Principio de funcionamiento de una válvula.

1.1.1 Tipos de Válvulas

Existen numerosos tipos de válvulas dependiendo de la aplicación para la que sean requeridas y no existe aún una manera unificada de clasificarlas. Debido a las diferentes variables, no puede haber una válvula universal; por tanto, para satisfacer los cambiantes requisitos de la industria se han creado innumerables diseños y variantes con el paso de los años, conforme se han desarrollado nuevos materiales. Todos los tipos de válvulas recaen en nueve categorías: válvulas de compuerta, válvulas de globo, válvulas de bola, válvulas de mariposa, válvulas de apriete, válvulas de diafragma, válvulas de macho, válvulas de retención y válvulas de desahogo (alivio) (Creus, 2010).

Que se clasifican como:

I. Válvulas de bloqueo:

1. Válvula de tapón o macho
2. Válvula de bola
3. Válvula de mariposa

II. Válvulas de control de flujo:

1. Válvula de globo
 - a) Válvula de aguja
 - b) Válvula en "Y"
 - c) Válvula en ángulo
2. De mariposa
3. De diafragma

III. Válvulas de retención o no retorno (check)

1. Válvula de bisagra o columpio
2. Válvulas horizontales
3. Válvula de bola
4. Válvula de pistón

IV. Válvulas para desahogo de presión

1. De seguridad y alivio
2. Operadas por piloto

V. Válvulas de control

- a) De asiento sencillo
- b) De asiento doble
- c) De ángulo
- d) De tres vías
- e) En Y
- f) De cuerpo partido
- g) De globo con jaula
- h) Partes de una válvula de control tipo globo Válvula de compuerta

Estas categorías básicas se describen a continuación.

I. Válvulas de bloqueo

1. Válvulas de compuerta

Características generales de las válvulas de compuerta:

1. Causa perdidas hidráulicas bastante bajas (baja caída de presión).
2. Sus asientos sellan en ambos lados.
3. Aseguran un buen ajuste entre cuña y asiento.
4. La compuerta tiene guías con objeto de proporcionar alineación perfecta a la cuña y además evitar vibraciones.
5. El disco no hace contacto total con los asientos, hasta que se le da la última vuelta al volante.
6. No sirven para regular flujo.

7. Se emplean para aislar un sistema de otro.
8. Operan únicamente totalmente abiertas o cerradas.
9. Las de rosca exterior se usan cuando los productos son corrosivos.
10. Las de rosca interior se usan cuando los productos no son corrosivos.
11. Su mayor aplicación es para procesos.
12. Se pueden utilizar para bajas y altas presiones y temperaturas.

Aplicaciones:

Servicio general, aceites y petróleo, gas, aire, pastas semilíquidas, líquidos espesos, vapor, gases y líquidos no condensables, líquidos corrosivos.

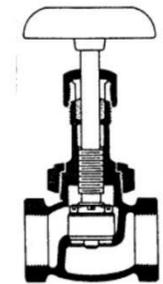


Fig. 3: Válvula de compuerta

2. Válvulas de macho.

Características generales de las válvulas macho:

- a) Es muy compacta.
- b) De peso ligero.
- c) Tienen baja caída de presión (válvula con orificio completo).
- d) Son herméticas.
- e) De fácil operación de $\frac{1}{4}$ de vuelta.
- f) Se usan para bloqueo (abierta o cerrada).
- g) Indicación visual de la posición de la válvula.
- h) Apertura y cierre rápidos.
- i) Económicas
- j) Pueden usarse para bajas y altas presiones.

Aplicaciones:

- Servicio general, pastas semilíquidas, líquidos, vapores, gases, corrosivos.

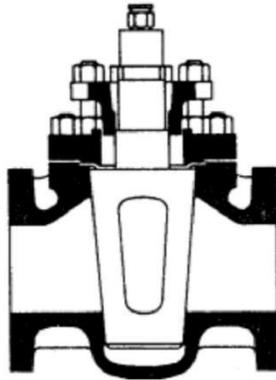


Fig. 4 : Válvula de macho

3. Válvula de bola

Características generales de las válvulas de bola:

a) Ventajas:

1. Inmejorables propiedades para conducción de flujo. El líquido fluye perfecta e ininterrumpidamente sin caída de presión, al igual que en las válvulas de compuerta.
2. Proporcionan un sello hermético y seguro como el de la válvula de globo.
3. Puede instalarse en cualquier posición que se requiera.
4. Una fácil operación con $\frac{1}{4}$ de vuelta del maneral, la válvula se tiene abierta o cerrada.
5. Indicación visual de que la válvula está cerrada o abierta.
6. Diseño compacto que permite un espacio mínimo de instalación y de operación.
7. Sus partes son reemplazadas, no requieren lubricación y puede tenerse un rápido acceso al interior de la válvula.
8. Los asientos pueden ser reajustados en la medida que el desgaste de estos se presenta.



Fig. 5: Válvula de bola

4. Válvulas de aleta o de mariposa.

Las válvulas de mariposa tienen algunas ventajas, entre las cuales destacan las que se mencionan a continuación:

1. Son de construcción compacta y sus dimensiones longitudinales (cara de cara de sus extremos) son muy reducidas.
2. Son de cierre rápido, ya que basta un cuarto de vuelta para cambiar de la posición totalmente abierta a la de totalmente cerrada. Para las válvulas de tamaños menores se emplean manivelas para el manejo, en tanto que para las grandes, de 8 in (205 mm) en adelante, se recomienda la aplicación de engranajes.
3. Las presiones nominales de estas válvulas son generalmente de 150 lb/in² (10.55 Kg/cm²) de presión de agua, aceite o gas. Las válvulas de este tipo son económicas en su adquisición, así como en la instalación, mantenimiento y reparaciones.



Fig. 6: Válvula de Mariposa

II. Válvulas de Control de flujo

1. Válvulas de globo.

Este tipo de válvula se usa generalmente en tuberías de poco diámetro para servicios de paso o control. Se usan principalmente para servicio de vapor y aire, donde se hagan. Se tienen otros tipos de válvulas que básicamente son modificaciones de las válvulas de globo. Estas son: Válvulas de aguja, válvulas en “Y”, válvulas de ángulo.

a) Válvulas de aguja. Las válvulas de aguja son, básicamente, válvulas de globo que tienen machos cónicos similares a agujas que ajustan con precisión en sus asientos. Al abrirlas, el vástago gira y se mueve hacia afuera. Se puede lograr estrangulación exacta de volúmenes pequeños debido al orificio variable que se forma entre el

macho cónico y su asiento también es cónico. Por lo general, se utilizan como válvulas para instrumentos o en sistemas hidráulicos, aunque no para altas temperaturas necesario el control del flujo y un bloqueo positivo.

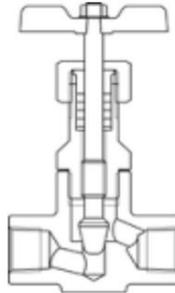


Fig. 7: Válvula de aguja

b) Válvulas en “Y”.

Las válvulas en “Y”, que son una modificación de las válvulas de globo, tienen el conducto rectilíneo de una válvula de compuerta.

El orificio para el asiento está a un ángulo de 45° con el sentido de flujo. Por tanto, se obtiene una trayectoria más lisa, similar a la de la válvula de compuerta y hay menor caída de presión que en la válvula de globo convencional; además, tiene buena capacidad para estrangulación. Las componentes de la válvula en “Y” son vástago, disco y anillo de asiento, como en las válvulas de globo. Los materiales con que se fabrican y sus tamaños son más o menos los mismos que en las de globo. Cualquier especificación de válvulas de globo se puede satisfacer con la válvula en “Y”.



Fig.8: Válvula en Y

c) Válvula de ángulo.

Las válvulas en ángulo son, básicamente, válvulas de globo que tienen conexiones de entrada y salida en ángulo recto. Su empleo principal es para servicio de estrangulación y presentación, menos resistencia al flujo que las de globo. Al abrirlas, el vástago gira y se mueve hacia afuera. Los componentes de la válvula de ángulo son los mismos para el vástago, disco y anillos de asiento que en las de globo. El eje del vástago está alineado con uno de los extremos.

La forma en ángulo recto del cuerpo elimina el uso de un codo porque el flujo en el lado de entrada está en ángulo recto con la del lado de salida. Los materiales de construcción y tamaños son más o menos los mismos que para las válvulas de globo: Bronce, hierro fundido, hierro, acero forjado, Monel, acero fundido, acero inoxidable.

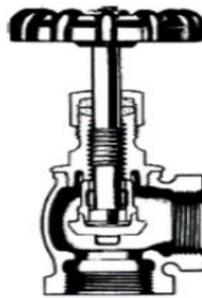


Fig. 9: Válvula de ángulo

2. Válvula de mariposa.

Ciertamente las válvulas de mariposa no son nuevas pero en los últimos años se ha incrementado su uso como elementos de control final. Si el trabajo a ser hecho requiere un sello ajustado, las válvulas de mariposa son frecuentemente revestidas con un material elástico, para lograr un sellado más efectivo cuando está cerrada, tiene como ventaja la baja resistencia que opone el paso del fluido, su bajo peso permite usarlo sin soporte y como se dijo anteriormente, pueden ser usadas como válvulas de control ya que cualquier cambio en su carrera corresponde a un cambio de igual porcentaje en el flujo.

3. Válvulas de diafragma.

La válvula de diafragma consiste en un cuerpo con flujo rectilíneo que puede o no estar interrumpiendo por un vertedero transversal. El cierre de la válvula se efectúa al oprimir un diafragma flexible contra la pared interna del cuerpo o contra el vertedero transversal.

La válvula original de este tipo se llamó válvula Saunders, por su inventor. Tiene un vertedero transversal configurado y solo requiere un pequeño movimiento del diafragma para abrir o cerrar.

Ventaja:

- Es a prueba de fugas y no requiere empaquetadura.

Este tipo de válvula es excelente para servicio de estrangulación cuando se manejan materiales corrosivos o tóxicos; como ejemplo citaremos el servicio de ácido sulfúrico y tratamiento de agua.

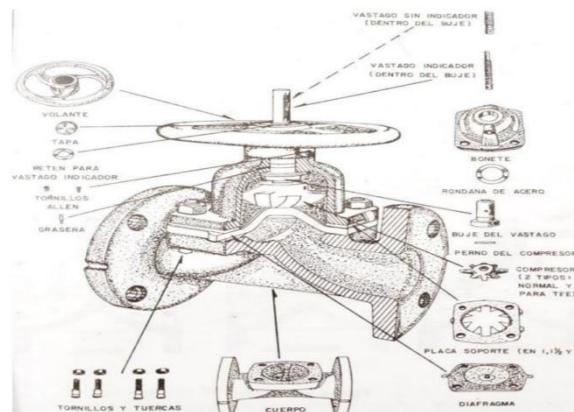


Fig.10 Partes de una Válvula de diafragma

En la bibliografía se pueden encontrar otros tipos de válvulas (Creus, 2010)

1.1.2 Componentes de una válvula

a) Cuerpo:

- El cuerpo es una envolvente que contiene las partes internas de la válvula y las conexiones para entrada y salida del flujo.

b) Vástago del disco o tapón:

- Es una barra sólida cilíndrica, normalmente roscada en un extremo, cuya función es conectar el disco o tapón con el medio de accionamiento para abrir,

cerrar o posicionar la válvula.

c) Prensa estopa: Es una pieza o casquillo metálico que sirve para retener y mantener presionado el empaque.

d) Brida del prensa estopas:

- Es una pieza que puede ser parte del prensa-estopas o ser independiente y su función es servir como punto de apoyo, para aplicar la fuerza que mantiene al prensa estopas contra el empaque.

e) Empaques:

- Los empaques tienen como objetivo principal formar un sello hermético entre la periferia del vástago y la parte del bonete por donde sale el vástago, con el objetivo de evitar fugas alrededor de este.

f) Caja de empaques:

- Es una cavidad circular que forma parte del bonete y que está diseñada de manera que pueda contener a los empaques.

g) Disco o tapón:

- Es la parte móvil con superficies pulidas cuya configuración física, permite realizar funciones de regulación y bloqueo de flujo, dependiendo del tipo de válvula de que se trate.

h) Anillos de asiento:

- Son dos piezas independientes de superficies pulidas que se montan en el cuerpo de la válvula, con objeto de formar el asiento que recibirá el disco, a fin de formar el sello hermético deseado.

i) Junta:

- Es una pieza que sirve para sellar la unión de dos metales, en este caso la función del cuerpo con el bonete.

j) Bonete:

- Realiza la función de tapa de la válvula y su constitución incluye el alojamiento para el disco, además de la parte a través de la cual se mueve el vástago.

k) Volante:

- Es el accionamiento mecánico, por medio del cual se produce el giro del vástago, a fin de poder subir o bajar el disco (Herrera, 2006)

1.1.3 Terminología referente a funciones y características de las válvulas de control

Ajuste de banco: Procedimiento de calibración de un resorte de actuador que puede utilizar una escala de presiones para situar una válvula por completo en su carrera nominal.

Capacidad: Cantidad de flujo a través de una válvula (Cv o Kv), en las condiciones indicadas.

Claro de flujo: Flujo que se produce por debajo del mínimo controlable con el elemento de cierre sin estar asentado por completo.

Intervalo de presión de diafragma: Diferencia entre los valores alto y bajo del rango de presión de carga del diafragma.

Actuador de acción doble: Actuador al que la energía neumática, hidráulica o eléctrica se aplica en cualquier dirección.

Desequilibrio dinámico: Fuerza neta generada en el obturador de la válvula, en cualquier posición de apertura, por la presión del proceso de fluido que actúa en él.

Área efectiva: En un actuador, parte de la sección del diafragma o del pistón que genera fuerza en el vástago. La zona efectiva de un diafragma puede cambiar con el movimiento, en general un máximo al principio y un mínimo al final del rango de carrera. Los diafragmas moldeados tienen menos cambios en la zona efectiva que los diafragmas de lámina plana, por lo que se recomienda el uso de estos últimos.

Falla cierra: Situación en la que el elemento de cierre de la válvula se desplaza a la posición de cierre cuando falla la fuente de energía actuante.

Falla abre: Situación en la que el elemento de cierre de la válvula se desplaza a la posición de apertura cuando falla la fuente de energía actuante.

A prueba de fallos: Característica de válvula y actuador, que al producirse la pérdida de suministro de energía actuante, hace que el elemento de cierre se cierre o abra por completo, o permanezca en la última posición, la que sea que se defina como necesaria para proteger al proceso y al equipo. La acción puede implicar el uso de controles auxiliares conectados al actuador.

Característica de flujo: Relación entre el caudal que pasa a través de la válvula y el porcentaje de la carrera nominal, que varía de 0 a 100%. Este término siempre se debe designar como característica de flujo inherente o característica de flujo instalada.

Coefficiente de flujo (Cv): Constante relativa a la geometría de la válvula, con una carrera determinada, que puede utilizarse para establecer la capacidad de flujo. Número de galones estadounidenses por minuto de agua a 16 °C (60 °F) que fluye a través de la válvula con una caída de presión de 1 libra por pulgada cuadrada.

Válvula de recuperación alta: Diseño de válvula que disipa una energía de corriente de flujo relativamente pequeña debido a los contornos internos perfilados y a la turbulencia de flujo mínima. Por lo tanto, la presión aguas abajo de la vena contracta de la válvula recupera un alto porcentaje de su valor de admisión. Las válvulas de flujo directo, como las de bola rotativa, suelen ser de alta recuperación.

Rango de presión inherente del diafragma: Valores de presión altos y bajos aplicados al diafragma para generar una carrera de obturador de válvula nominal con presión atmosférica en el cuerpo de la válvula. Este rango suele utilizarse como referencia porque será el que utilice la válvula al colocarse en el banco de pruebas.

Característica de flujo inherente: Relación existente entre el caudal y la carrera del elemento de cierre al desplazarse de la posición de cierre a la carrera nominal con caída de presión constante en toda la válvula.

Gama de presión de diafragma instalada: Valores de presión altos y bajos aplicados al diafragma para generar una carrera nominal con condiciones determinadas en el cuerpo de la válvula. Se debe a las fuerzas que actúan en el elemento de cierre que el rango de presión inherente del diagrama difiera del rango de presión de diafragma instalada.

Característica de flujo instalada: Relación existente entre el caudal y la carrera del elemento de cierre al desplazarse de la posición de cierre a la carrera nominal como caída de presión constante en toda la válvula según influyan las distintas condiciones de proceso.

Válvula de recuperación baja: Diseño de válvula que disipa una cantidad importante de energía de la corriente de flujo debido a la turbulencia creada por los contornos de la vía de circulación. Por lo tanto, la presión aguas abajo de la vena contracta de la válvula recupera un menor porcentaje de su valor de admisión que una válvula con una vía de circulación más perfilada. Aunque los diseños son distintos, las válvulas de globo convencionales tienen en general baja capacidad de recuperación de presión.

Característica de flujo parabólica modificada: Característica de flujo inherente que proporciona iguales porcentajes con carrera de elemento de cierre baja y

aproximadamente una característica lineal en las partes más altas de la carrera del elemento de cierre.

Coefficiente de flujo nominal (Cv_s): Coeficiente de flujo (Cv_s) de la válvula a carrera nominal.

Carrera nominal: Distancia del movimiento del elemento de cierre desde la posición de cierre hasta la de apertura total nominal. La posición de apertura total nominal es la apertura máxima recomendada por los fabricantes.

Coefficiente de flujo relativo (Cv): Relación entre el coeficiente de flujo (Cv) a una carrera determinada y el coeficiente de flujo (Cv_s) a una carrera nominal. (Herrera, 2006)

1.2 Selección y Dimensionamiento de válvulas.

1.2.1 Selección de válvulas de control.

Es importante conocer la forma como se escogen las válvulas reguladoras con el fin de ser capaces de dimensionarlas y de garantizar que su funcionamiento sea libre de problemas y pueda mantenerse por largo tiempo. Debe tenerse en cuenta que existe una gran variedad de tipos de válvulas reguladoras y cada tipo en particular tiene un procedimiento de escogencia. Sin embargo, de manera general, siempre se busca mantenerse dentro de un rango de parámetros que permitan, por ejemplo, un funcionamiento de bajo ruido u otras vibraciones nocivas para el proceso.

Dentro de una planta o de un sistema de tuberías, cada uno de los procesos requiere distintos equipos y válvulas. Por lo tanto, existe una amplia y extensa variedad de distintos diseños y variantes disponibles en todo el mundo. La funcionalidad, la vida útil y la seguridad de la planta, sin olvidar la calidad del producto producido, dependen, por lo tanto, de la correcta elección de las válvulas y de los componentes de medición y regulación. Con el fin de definir la versión óptima para el uso previsto, debería realizarse un análisis preciso de los parámetros de funcionamiento. El perfil de los requisitos que se obtiene se utiliza entonces para seleccionar la válvula o el sistema óptimo a partir de las versiones disponibles (Requez, 2012).



Fig.11 Análisis de Aplicación.

Análisis de los requisitos de equipamiento

El análisis de los requisitos se divide en tres categorías:

- Requisitos de procedimiento y proceso
- Influencias de los medios
- Requisitos técnicos de la planta

Para asegurar que no se descuida ninguno de los requisitos y parámetros de trabajo y que no se pasan por alto factores económicos potenciales, es muy útil escribir todos los criterios. El diagrama de selección también puede utilizarse para seleccionar otros componentes Como, bombas, filtros, sensores, etc.

1.2.2 Requisitos de procedimiento y proceso

Determinar los parámetros de proceso

- Temperatura de trabajo y ambiente
- Presión de trabajo y etapas de presión
- Flujo volumétrico (valor Kv) y velocidad de flujo
- Otros requisitos de funcionamiento: aplicaciones de mezcla, distribución, conducción y regulación.

Cuando se determinan estos parámetros es importante que se tengan en cuenta todas las condiciones de trabajo. Con frecuencia, solo se presta atención al proceso propiamente dicho y, a menudo, se pasan por alto situaciones de trabajo como la limpieza y/o la esterilización de una planta. Sin embargo, pueden entrar en juego condiciones de trabajo completamente diferentes que ejercen un estrés mucho mayor en los componentes de las tuberías que el proceso de la planta propiamente dicho y que puede que tengan un impacto negativo sobre el funcionamiento o la vida útil (Requez, 2012)

Influencias de los medios

Determinar los parámetros de los medios

- Propiedades químicas (inerte, corrosivo, explosivo).
- Propiedades mecánicas (contaminantes, partículas, formación de burbujas, abrasión, viscosidad).
- Propiedades eléctricas (conductividad, carga estática).
- Estado de agregación.

Las propiedades específicas de los medios de trabajo (fluidos) deben examinarse obligatoriamente en cuanto a todas sus propiedades físicas y químicas relevantes. Asimismo, de ninguna forma deberían dejarse de lado las interacciones potenciales, por ejemplo, entre la temperatura, la presión o la agresividad que depende de la concentración. Igualmente, la velocidad de flujo tiene un efecto directo sobre la abrasión (así como el contenido de partículas) del medio o la formación de cavitación. Siempre es importante aclarar la siguiente pregunta: ¿Hay solo un medio de trabajo o el equipo se utilizará para mezclas, compuestos, agentes de limpieza, medios de esterilización u otros aditivos? Incluso la mínima adición de otra sustancias puede tener un efecto drástico en la vida útil de los materiales y las juntas.

Requisitos técnicos de la planta

Determinar el diseño de la planta existente y requerido

- Función de control necesario (manual, neumático/hidráulico, por motor eléctrico, magnético)

- Requisitos de seguridad (protección frente a explosión, sustancias volátiles peligrosas, función de emergencia)
- Condiciones ambientales (sala blanca, frío/calor, polvoriento, vibración, productos químicos, humedad, exterior, vapores salinos y corrosivos=> condiciones ambientales corrosivas)
- Diseño de la planta existente (PLC, bus de campo/interfaces de comunicación, medio de control)
- Cumplimiento de normas y reglamentos

Con una planta ya existente o en instalaciones ya establecidas, deben tenerse en cuenta muchos factores. Sin embargo, también en un nuevo edificio hay varios parámetros que ya existen. Son ejemplos típicos la tecnología de regulación de los actuadores de componentes instalados (hay conexiones para aire comprimido o no) o el nivel de automatización de la planta (indicación/control mediante PLC necesario o no). También las soluciones móviles, sobre todo en el tratamiento de agua, determinan varios parámetros, por ejemplo, en este caso normalmente solo pueden utilizarse actuadores manuales o con motor eléctrico.

Tecnología de los equipos:

Tras un análisis preciso de los requisitos de los equipos y otros factores, ahora puede seleccionarse el equipo más adecuado de una extensa variedad de productos. Para ello, siempre debería asegurarse de que el proveedor tiene una amplia variedad de productos y versiones. Si no es así, siempre hay el riesgo de que le recomienden un equipo equivocado o un aparato inapropiado debido a la limitación de opciones. Si es posible, los accesorios deberían proceder de la misma gama de productos. Si no, ya debería haberse probado la compatibilidad de los accesorios con el mismo equipo en planta.

Optimización del equipo seleccionado:

Cuando ya se ha definido la válvula, debe llevarse a cabo otra etapa. Aparte de la «versión convencional», muchos fabricantes ofrecen versiones secundarias adicionales que ofrecen un excelente perfil de rendimiento. GEMÜ, por ejemplo, ofrece múltiples cuerpos/asientos y tamaños de actuador para un tamaño de conexión. Entre otras cosas, esto ayuda a evitar fenómenos físicos no deseados

como la cavitación y a reducir costes de trabajo. Por ejemplo, el uso de tamaños de actuador más pequeños basado en un perfil de usuario más rentable puede ahorrar energía durante el funcionamiento (palabra clave: sobredimensionado)

Planteamiento de soluciones:

En base a los parámetros de funcionamiento y a las condiciones de aplicación, normalmente existen varias soluciones. La mejor variante de una válvula desde el punto de vista técnico es a menudo, según nuestra experiencia, también relativamente cara. Por eso, los ingenieros de planta y los operarios también quieren tener en cuenta la «segunda mejor» variante. Esta normalmente también satisface todos los requisitos, pero puede quedar limitada en cuanto a vida útil y funcionalidad.

Análisis coste-beneficio:

Cuando se elige esto último, la «segunda mejor solución», es importante que después se analice si, en realidad, esta es la solución más rentable. Si, por ejemplo, un material es menos resistente al fluido y el cuerpo de la válvula tiene que sustituirse a intervalos cortos (costes de mantenimiento, tiempo de instalación), puede que sea más rentable cambiar a otro material técnicamente superior.

1.2.3 Parámetros para la Selección.

Seguidamente se hace un análisis de la metodología para la selección de una válvula de control, a partir de la información especificada. (Alemán, 2007)

1. En dependencia del tipo de fluido, es necesario considerar:

- Flujo máximo a manipular.
- Flujo normal de operación.
- Datos característicos de la fuente impulsora. Para el caso de bombas centrífugas se deberá poseer la curva característica de la misma.
- Caída de presión en función del flujo del sistema, formado por tramos de tuberías, accesorios, exceptuando la correspondiente a la válvula de control.
- Disponibilidad de válvulas entre las cuales seleccionar.

2. Si el flujo máximo no está sobre diseñado se deberá incrementar este entre un 10 y un 30 %.

3. Calcular el Cv requerido para la válvula.

4. Escoger en una primera selección aquellas válvulas que cumplan con que $C_v \text{ real} \geq C_v \text{ requerido}$. Con esto se garantiza que la válvula pueda manipular el flujo máximo con sobre diseño.
5. En caso de que exista una gran diferencia entre el C_v real y el C_v requerido es necesario recalcular los valores de flujo máximo y de caída de presión asociada. Esto implica la utilización de un procedimiento de tanteo y error.
6. Obtener la curva de característica real de la válvula. Para esto es necesario conocer la curva de característica inherente de la válvula a probar.
7. Determinar ganancia del proceso y de la válvula a diferentes valores de flujo.
8. Obtener para los pares de valores ganancia de la válvula-ganancia del proceso, su producto. $K = K_{vi} + K_{pi}$
9. Será conveniente utilizar una válvula que en el mayor rango posible mantenga un valor constante de K . La dimensión de este intervalo viene dado por la rangeabilidad de la válvula, pero desde un punto de vista práctico si se cumple en un $\pm 25\%$ del flujo medio de operación es posible la utilización de esta válvula, en caso contrario debe ser probada otra.
10. En caso de no obtenerse una válvula que cumpla con estos requerimientos es imprescindible analizar el sistema de control desde el punto de vista de la estabilidad para comprobar la afectación que puede tener sobre la misma los cambios en la ganancia.

Como se puede apreciar de los análisis anteriores, el proceso de selección de la válvula adecuada en un determinado proceso es una tarea compleja, en la cual intervienen varios parámetros y variables, sus relaciones, cálculo de expresiones, estimación económica, etc. Pretender prescindir de la aplicación de algoritmos computacionales es negar el desarrollo de la ciencia.

1.2.4 Proceso de dimensionamiento

Las actividades de estandarización para el dimensionamiento de válvulas de control se pueden rastrear hasta principios de la década de 1960, cuando una asociación comercial, el Fluids Control Institute, publicó ecuaciones de dimensionamiento para usar con líquidos comprimibles e incompresibles. La variedad en las condiciones de servicio que se podían adaptar con precisión a estas ecuaciones era muy restringida, y el estándar no alcanzó un alto grado de aceptación. En 1967, la ISA estableció un

comité para desarrollar y publicar ecuaciones estándares. Las iniciativas de este comité culminaron en un procedimiento de dimensionamiento de válvulas que alcanzó el estatus de estándar nacional de EE. UU. Más tarde, un comité de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, en inglés) empleó el trabajo de la ISA como base para formular estándares internacionales para el dimensionamiento de válvulas de control. Los estándares de dimensionamiento de válvulas ANSI/ISA-75.01.01 e IEC 60534-2-1 fueron unificados de modo tal que se puede usar cualquiera de los dos.

Por dimensionamiento se entiende la determinación del tamaño de la válvula, que viene dado por su diámetro (tamaño del orificio de entrada). Es evidente que hay razones económicas que hacen que esta tarea sea importante, hay que tratar que este dispositivo tenga el menor tamaño (y por lo tanto el menor costo). Pero también hay razones técnicas, ya que válvulas sobre dimensionadas pueden llegar a tener un pobre desempeño cuando trabajan en un lazo de control (Creus, 2010).

El dimensionar válvulas es un procedimiento por el cual la dinámica de un sistema de proceso es igualada a las características de desempeño de una válvula, para que una válvula de control satisfaga todos los requerimientos de la mejor manera posible el manejo del flujo dentro de ese sistema de proceso.

Los requerimientos básicos de información para el dimensionamiento efectivo de una válvula son:

Para el sistema: Presión antes y después de la válvula, variación de presión, tasa de flujo, cantidad y unidades, caudal, temperatura de procesos con unidades, propiedades del medio (viscosidad, fibras en suspensión, gases y su presión de vapor, en algunas ocasiones peso molecular).

Diámetro de diseño.

Debido a que la velocidad permitida del flujo a través de la válvula de control es menos limitante que para el diseño de una tubería, se permite dimensionar la válvula a menores diámetros que la sección de línea que la soporta, Tubería de 6 [in] y una válvula de 4[in].

La velocidad permitida en el cabezal o ramal del medidor es máximo 15 ft/s. La velocidad permitida en estas válvulas, dependiendo el servicio, tipo de flujo, condiciones climáticas, etc., permite trabajar con velocidades entre un rango de

$V=25$ y 35 ft/s. Por lo anterior se justifica que la válvula de control sea de menor diámetro que la tubería a ser instalada.

El método más aceptado para el dimensionamiento es conocido como el Procedimiento del Caudal de Coeficiente o Coeficiente de Flujo (C_v), introducido por Masoneilan en 1944 con la intención de normalizar el cálculo del dimensionamiento de válvulas. El cual se define como: el volumen (en EE.UU. galones) de agua a 60 °F que fluirá por minuto a través de una válvula totalmente abierta con una caída de presión de 1 psi en la válvula (Creus, 2010).

Otro término incorporado relacionado estrechamente con el C_v es el K_v , el cual es el caudal de agua a 15 °C en m^3/h que pasa a través de la válvula ensayada completamente abierta y provoca una pérdida de carga de 1 kg/cm². El flujo a través de una válvula está sometido a esfuerzos cortantes que generan fricción. Esto disipa la energía contenida en el fluido en forma de calor y vibraciones, entre otros. Esta disipación de energía se ve reflejada en pérdidas de presión en el fluido. Esta pérdida de presión generada por las válvulas es además dependiente de su grado de apertura. Para caracterizar técnicamente estas pérdidas se creó el valor de capacidad de flujo K_v , que representa un valor de caudal normalizado a través de una válvula, para poder hacer comparaciones entre diferentes opciones, a la hora de diseñar un sistema de flujo.

La pérdida de presión en una válvula de control de presión es proporcional al cuadrado del flujo volumétrico e inversamente proporcional al cuadrado de un área de flujo característica, que normalmente está determinada por el espacio entre el sello y el plato de cierre. Utilizando un resorte que mantiene un área de flujo determinada, se puede controlar el flujo que pasa a través de ella, generando pérdidas de presión conocidas y predecibles, logrando así el valor deseado de presión aguas abajo. En este caso se debe tener cuidado con los ruidos generados por el flujo que crecen también con el cuadrado de la velocidad. Los fabricantes de válvulas reguladoras de presión entregan gráficas de presión sonora causada por la variación de velocidad de flujo pasando a través de la válvula. Se considera que un valor de presión sonora de 20 Pa alcanza ya el umbral de dolor. En la práctica, a partir de valores de 2 a 3 Pa, se recomienda pensar en instalar sistemas de amortiguamiento del ruido generado por el flujo (Emerson, 2019).

La relación es la siguiente:

$$1Kv = 0,86 Cv \quad \text{y} \quad 1 Cv = 1,16 Kv. \quad (1)$$

Fenómenos que presentan las válvulas de control.

La caída de presión a través de una válvula de control provoca la disipación de energía, debido a la fricción y turbulencia, una parte de esta energía se convierte en potencia de sonido que se trasmite a través del cuerpo de la válvula y la tubería aguas debajo de la zona circundante, las principales fuentes de esta disipación son el Trim, la válvula y la expansión de la salida de la válvula hacia la tubería aguas abajo, generando vibración y ruido, la OSHA ha designado un límite de decibeles que es aceptable de manera general para las válvulas instaladas, estos decibeles no pueden exceder los 80dB a 90dB.

Los cambios de golpe de temperatura de gas natural producen la formación de hidratos, debido al cambio de presión, la temperatura disminuye hasta formar un hidrato, estos hidratos son gases que se han convertido en partículas semisólidas que a altas velocidades chocan con la válvula generando problemas de abrasión y erosión.

Los problemas de erosión se generan por la presencia de sólidos en suspensión que viene en alta velocidad del fluido, además estos sólidos pueden generar obstrucciones.

1.2.5 Principio de Bernoulli.

En dinámica de fluidos, el principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli o trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un líquido moviéndose a lo largo de una corriente de agua (Castellanos, 2010).

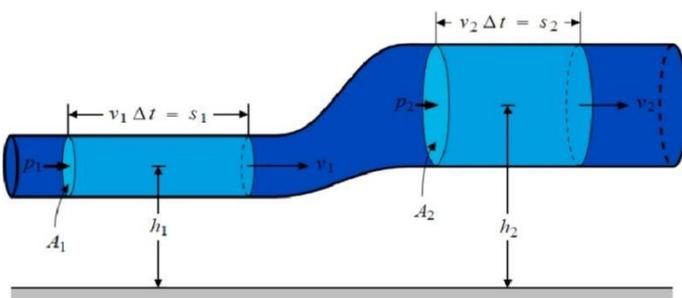


Fig.12 Principio de Bernoulli

$$\frac{v^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{constante}$$

(2)

Dónde:

V= Velocidad del fluido en la sección considerada.

ρ = Densidad del fluido

P= Presión en cada punto de la línea de corriente.

g= aceleración gravitatoria

Z= altura, dirección de la gravedad, desde una cota de referencia.

1.2.6 Mantenimiento de las válvulas.

Mientras más eficiente sea la válvula de control más ganancias se generan directamente a la planta, ya que la función principal de estas válvulas es de optimizar procesos.

Si la válvula de control presenta errores en su funcionamiento, ningún tipo de tecnología sofisticada aguas debajo de la válvula podrá corregir estos problemas.

Estas válvulas deben funcionar correctamente sin importar la tecnología del sistema de automatización o la precisión de instrumentación. Si esas válvulas no funcionan correctamente no se podrá alcanzar el máximo rendimiento, calidad del producto, beneficios y la conservación de energía (Castellanos, 2010).

Mantenimiento reactivo.

El mantenimiento reactivo permite identificar diferencias sutiles que pasan desapercibidos, en algunos casos algunas válvulas críticas pueden ser descuidadas hasta que empiezan a mostrarse fallas como por ejemplo que se filtre demasiado o comience a fallar, esto hace que se reaccione antes que presente problemas graves, lo que ocasionaría es que podrían ser retiradas innecesariamente ante una sospecha del mal funcionamiento.

Requiere de uno o más días para desinstalar, desmontar, inspeccionar y volver a instalar, este tiempo podría ser en vano si se detecta que el problema de estos síntomas no es causado por la válvula de control (Castellanos, 2010).

Mantenimiento predictivo.

En la actualidad los encargados de la planta frecuentemente amplían el tiempo entre paradas de tres a cuatro años incluso más tiempo, cuyo fin es maximizar la disponibilidad del proceso. Este proceso de mantenimiento tradicional presenta cuatro modos diferentes:

- La detección de fallas, que se da en el monitoreo, cuando una falla se identifica, este proceso realiza una transición hacia la discriminación de la falla.
- Discriminación de falla o avería, se da a las partes de la válvula mediante una evaluación para determinar la causa de falla y realizar medidas de acción preventiva.
- Proceso de recuperación, se ejecuta las acciones correctivas para llegar al origen del defecto.
- Validación, se hace una evaluación a las válvulas con respecto al estado anterior, cuando se implementó la válvula terminando este proceso vuelve al estado de detección (Castellanos, 2010).

CAPITULO II: METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS DE CONTROL

2.1 Caracterización de la Empresa Termoeléctrica (ETE) Lidio Ramón Pérez de Felton

La Central Termoeléctrica “Lidio Ramón Pérez” desempeña un papel importante dentro de la economía nacional es por ello que la eficiencia de cada uno de los procesos que ocurre dentro de las diferentes plantas e instalaciones que la compone incide considerablemente en la reducción del consumo energético. Es imprescindible para Cuba el desarrollo de una tecnología que permita el ahorro de recursos, la disminución de gastos de energía y contaminación atmosférica. Además que se logre el incremento de la eficiencia y el uso racional de los recursos evitando la importación de productos altamente costosos.

Se encuentra ubicada en la Región Oriental de Cuba, en la costa Norte de la Provincia Holguín, Municipio Mayarí, en el poblado de Felton, calle 1era, Km 9 ½, SN, a una distancia de 20 km de la cabecera municipal. Limita al Este con la Bahía de Cajimaya y la antigua Empresa Comandante “René Ramos Latour” de Nicaro, por el Norte con el primer pueblo de Felton, al Oeste con la antigua Fábrica Mezcladora de Fertilizante y al Sur con los almacenes de Planta Completa. Utiliza como principal vía de acceso la carretera Felton - Mayarí. (Marrero y Sigarreta, 2017)

La ETE está compuesta por la Dirección General, tres Direcciones, y cinco Unidades Empresariales de Base:

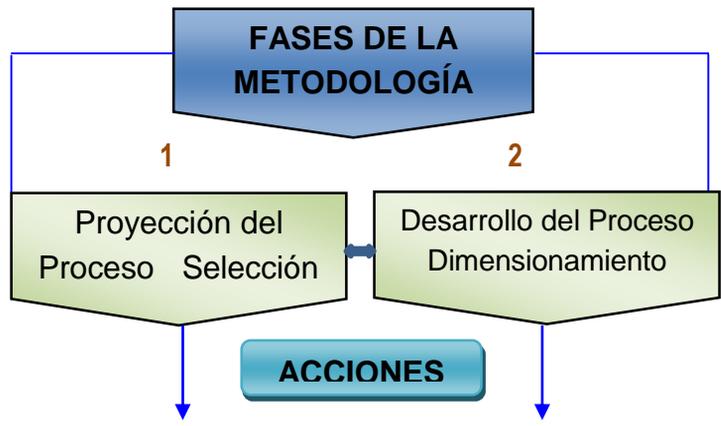
- Dirección Técnica
- Dirección de Recursos Humanos (Capital Humano)
- Dirección Contabilidad y Finanzas (Económico)
- UEB Generación Térmica
- UEB Mantenimiento
- UEB Aseguramiento
- UEB Automática
- UEB Generación Motores Fuel Oil

ETE Felton tiene actualmente una capacidad instalada de generación eléctrica de 500 MW, distribuidas en dos tecnologías de generación:

- Generación termoeléctrica a partir de 2 unidades de 250 MW c/u, que emplean crudo como combustible y que expulsan los gases producto de la combustión a través de una chimenea común de 150 m de alto y 7,68 m de diámetro.

- Generación a partir de los nuevos motores, compuestos por seis baterías de cuatro motores cada una con una potencia de 2,5 MW c/u, que emplean fuel oil como combustible y que expulsan los gases producidos durante la combustión por una chimenea por cada batería, de 37 m de alto y 1,7 m de diámetro.

Las actividades principales asociadas al proceso de generación termoeléctrica (calderas, turbinas, generadores, sistemas de control de los bloques y talleres de explotación) están agrupadas en la UEB Generación Térmica, mientras las que se asocian a la generación por motores están agrupadas en la UEB Generación Motores Fuel Oil.



- Determinar los objetivos específicos.
- Crear las condiciones para la Selección y el Control
- Incorporar acciones en la planta para los tipos de válvulas de control en fase 1.

- Determinar los objetivos específicos.
- Crear las condiciones para el Dimensionamiento y el Control
- Incorporar acciones en la planta para los tipos de válvulas de control en fase 2.

RESULTADOS

Identificación de los principales tipos de válvulas y su principio de funcionamiento.

Elaboración de una metodología para seleccionar y dimensionar válvulas de control.

Valoración del impacto económico que tiene para la ETE la utilización de esta metodología.

Se analizó su incidencia en el medio ambiente y como disminuir el ruido que producen.

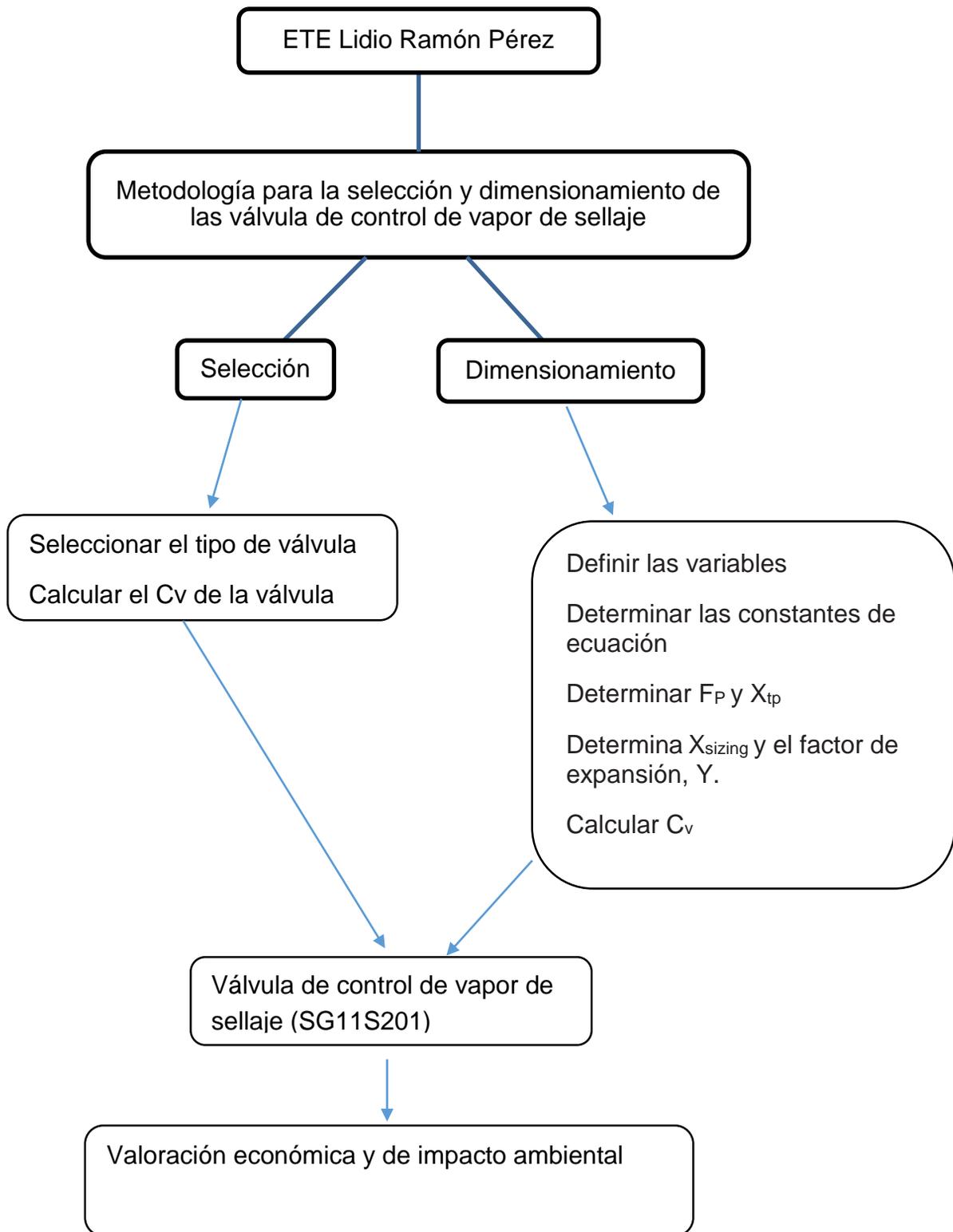


Fig 13. Representación esquemática de las fases de la metodología que concreta la selección y dimensionamiento de las válvulas de control.

2.2. Proceso de selección de una válvula de control

El actuador también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros, por ser las más sencillas y de rápida actuaciones. Aproximadamente el 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte, Lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago (Requez, 2012)

Teniendo en cuenta que la gama usual de presión es de 3 a 15 lbf/pulg² en la mayoría de los actuadores se selecciona el área del diafragma y la constante del resorte de tal manera que un cambio de presión de 12 lbf/pulg², produzca un desplazamiento del vástago igual al 100% del total de la carrera. Actuadores de velocidad variable, que gobiernan velocidad de bombas centrífugas, ventiladores, compresores, etc., variando así el caudal de fluido, y que presenta la ventaja de evitar la feria de energía que necesariamente absorben las válvulas de control.

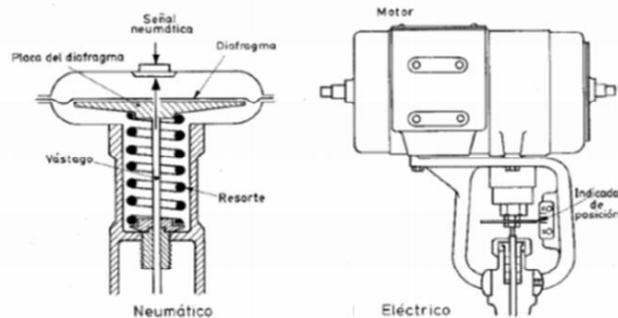


Fig.14 Actuadores

Los posicionadores son instrumentos que ayudan a mejorar el control a través del posicionamiento preciso del actuador de la válvula de control en respuesta a la señal. Los posicionadores reciben la señal de entrada neumática o electrónica y provee una señal de salida, por lo general neumática al actuador para asegurarse del posicionamiento del obturador, posición que es realimentada para corregirse en caso de que su valor no sea el que se desea. Es, en sí mismo, un controlador de la posición del obturador de la válvula, que recibe como entrada la señal de control y la compara con la apertura. Por lo general se utilizan para garantizar la linealización de la apertura de la válvula, es decir, para que la apertura de la válvula tenga una relación lineal con el flujo que pasa a través de ella.

Se prefiere el uso del coeficiente Cv, puesto que es el coeficiente más utilizado y optimizado por los fabricantes. Para el cálculo de Cv para el flujo de gases y el flujo de vapores a través de válvulas es necesario considerar otras características además del caudal y la caída de presión. El coeficiente Kv para la válvula totalmente abierta se denomina Kvs mientras que mínimo valor recibe el nombre de Kv0. Por lo tanto, la relación Kvs/Kv0 es la denominada “rangeability” o “campo de control” expresó la relación de caudales que la válvula puede controlar. La equivalencia entre los coeficientes Kv y Cv para válvula totalmente abierta es:

$$Kv = 0,86 Cv \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$Cv = 1,16 Kv \text{ (galones por minuto)}$$

Q = caudal máximo, en m³/h

ρ = densidad en Kg/dm³ o g/cm³

ΔP = pérdida de carga en bar para caudal máximo

El coeficiente Cv ampliamente conocido será:

$$Cv = Q \sqrt{\rho / \Delta P} \quad (3)$$

Q = caudal máximo en gpm

ρ = densidad relativa

ΔP = pérdida de carga en psi

A continuación se aclara el método usado por la empresa Masoneilan, una de los fabricantes de válvulas de control más prestigiosas. Es importante resaltar que cada fabricante da un procedimiento y unas fórmulas para el cálculo del coeficiente Cv que es útil para sus diseños. Se eligió el catálogo Masoneilan pues entrega fórmulas fáciles de utilizar, sin embargo en la realidad hay que considerar a varios fabricantes para la selección de una válvula de control. (Requez, 2012)

Flujo volumétrico de Gases (Catálogo Masoneilan)

$$Cv = \frac{Q_s \sqrt{G \cdot T_1}}{836 \cdot Cf \cdot P_1 (y - 0.148y^3)} \quad (4)$$

Donde

Q: Tasa de flujo de gas es scfh (a 14 psi y 60 F)

G: Gravedad relativa. Para gases se calcula dividiendo el peso molecular del

gas y el peso molecular del aire (29g/mol)

T: temperatura en R

Cf: factor crítico, se consigue en la tabla para válvulas

P1: Presión antes de la válvula (Psi)

P2: Presión después de la válvula (Psi)

$$y = \frac{1.63}{Cf} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{P_1}} \quad (5)$$

Nota: si "y" es mayor que 1.5 entonces se usa "y" igual a 1.5

Flujo volumétrico de vapor de agua (Catálogo Masoneilan)

$$Cv = \frac{W(1+0.0007Tsh)}{1.83 \cdot Cf \cdot P_1 \cdot (y-0.148) \cdot y^3} \quad (6)$$

Donde

W: Tasa de flujo másico en lb/hr

Tsh: grados de sobrecalentamiento en °F

Cf: factor crítico, se consigue en la tabla para válvulas

P1: Presión antes de la válvula (Psi)

P2: Presión después de la válvula (Psi)

$$y = \frac{1.63}{Cf} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{P_1}} \quad (7)$$

Nota: si "y" es mayor que 1.5 entonces se usa "y" igual a 1.5

Para seleccionar la válvula adecuada, es necesario considerar las condiciones generales de operación que tendrá. Una selección adecuada de una válvula incluirá consideraciones acerca de:

- Temperatura de operación de la válvula
- Presión de operación de la válvula
- Tipo de fluido
- Magnitud del flujo
- Magnitud de la caída de presión
- Necesidad de apertura frecuente
- Necesidad de apertura rápida

- Necesidad de cierre hermético
- Cavitación

La cavitación se produce cuando la caída de presión a través de la válvula se hace inferior a la presión de vapor del fluido (P_v) formándose burbujas en el fluido por efectos del cambio de fase, una vez pasado el punto de la vena contracta, al recuperarse la presión en la salida si ésta vuelve a superar la P_v , las burbujas colapsan o implosionan produciendo ráfagas de altas velocidades debido a la liberación de energía, las cuales erosionan los componentes del trim, a corto plazo la cavitación hace inoperable la válvula. Igualmente se produce un ruido hidrodinámico parecido al sonido como de grava chocando con las paredes internas del cuerpo de la válvula.

Para la comprobación de la cavitación se puede asumir que, si un fluido está a 15°C por encima o por debajo de su punto de ebullición, entonces es muy difícil que se vaporice en la válvula y se puede suponer que no hay cavitación en el análisis.

La caída de presión se considera alta si es mayor que el 25% de la presión de entrada (Requez, 2012)

2.2.1 Ejemplo de selección de una válvula

Un proceso de esterilización utiliza vapor de agua a 440°F y 1.8 bar. El vapor entra a la cámara en un flujo de 230000 Lb/h y debe controlarse de manera precisa a través de una válvula de control que produzca una caída de presión de 5 psi. Seleccione la válvula adecuada para este caso.

Solución:

Datos $\Delta P = 0.34 \text{ bar}$ $P_1 = 1.79 \text{ bar}$ $W = 230000 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$ $T_1 = 440^\circ\text{F}$ Usando la caída de presión puede calcularse la presión 2

$$P_2 = 1.45 \text{ bar} \quad (8)$$

Se observa además que ΔP es menor que el 25% de P_1

Condiciones de operación: Para el estado 1:

$$P_1 = 1.8 \text{ bar}$$

$$T_1 = 440^\circ\text{F}$$

Convirtiendo unidades:

$$P_1 = 179263.69 \text{ Pa}$$

$$T_{1c} = 226,6^\circ\text{C}$$

En la tabla de vapor, a la presión dada de 179kPa, buscamos la temperatura de saturación

$$T_{\text{sat}} = 116.8^\circ\text{C}$$

Es obvio que la diferencia entre la temperatura de entrada y la de saturación es mayor a 15°C , luego podemos asumir que no hay cavitación debida al cambio de fase.

Buscamos los grados de sobrecalentamiento y los convertimos a diferencia de Fahrenheit

$$T_{\text{sh}} = \frac{9}{5} (T_{1c} - T_{\text{sat}})$$

$$T_{\text{sh}} = 197.76^\circ\text{C}$$

Selección de la válvula

La caída de presión es baja y no hay cavitación. El fluido es limpio y sin sólidos en suspensión. Se desea accionamiento frecuente. Se selecciona entonces una válvula de mariposa.

Para el cálculo del Cv se utiliza el catálogo Masoneilan

Cálculo del Cv de la válvula

Flujo volumétrico de vapor de agua (Catálogo Masoneilan)

$$Cv = \frac{W(1+0.0007T_{\text{sh}})}{1.83 \cdot C_f \cdot P_1 \cdot (y-0.148) \cdot y^3} \quad (9)$$

Donde

$$y = \frac{1.63}{C_f} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{P_1}} \quad (10)$$

Si "y" es mayor que 1.5 entonces se usa "y" igual a 1.5

De la tabla 2 (Anexos) se obtiene $C_f = 0.65$

Calculamos Y

$$y = \frac{1.63}{C_f} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{P_1}} \quad (11)$$

$$y=1.1$$

Obtenemos $C_v = 9377.16$

La válvula a seleccionar es una Válvula de Mariposa con C_v de 9377.16, para un flujo de vapor de 230000 lb/hr a 440 F y 26 psi con una caída de presión de 5 psi.

2.3. Proceso de dimensionamiento de una válvula

Las válvulas de control manipulan todo tipo de fluidos a temperaturas desde el rango de temperaturas criogénicas a temperaturas superiores a 538°C (1000°F). La selección de un conjunto de cuerpo de válvula de control requiere una evaluación detallada para obtener la mejor combinación disponible de estilo de cuerpo de válvula, material y diseño de fabricación de los internos para la aplicación prevista. También se deben considerar los requisitos de capacidad en rangos de presión de funcionamiento al seleccionar una válvula de control para garantizar un funcionamiento satisfactorio sin un coste inicial indebido (Creus, 2010).

Los fabricantes reputados de válvulas de control y sus representantes se esfuerzan en ayudar a seleccionar la válvula de control más adecuada para las condiciones de servicio existentes. Debido a que existen varias opciones correctas para una aplicación, es esencial proporcionar toda la información a continuación para cualquier conjunto de condiciones que se considere de importancia:

- Tipo de fluido que manipular.
- Temperatura del fluido.
- Viscosidad del fluido.
- Concentraciones de todos los elementos, incluyendo trazas de impurezas.
- Condiciones del proceso durante el inicio, tareas habituales y el apagado.
- Limpieza con agentes químicos que se pueda realizar de forma periódica.
- Gravedad específica o densidad del fluido.

- Caudal de fluido.
- Presión de entrada en la válvula.
- Presión de salida o caída de presión.
- Caída de presión en el cierre.
- Nivel máximo de ruido permitido, si fuera pertinente, y el punto de referencia de la medición.
- Grados de sobrecalentamiento o presencia de vaporización, si fuera conocido.
- Tamaño y cédula de los conductos de entrada y salida
- Información de identificación especial requerida.
- Material del cuerpo fundido
- Conexiones finales y características la de válvula
- Respuesta deseada a un fallo de aire (apertura de válvula, cierre, o mantener la última posición de control).
- Disponibilidad de alimentación de aire del instrumento.

Además, la información siguiente requiere el acuerdo entre el cliente y el fabricante dependiendo de la adquisición y las prácticas de ingeniería seguidas.

- Número de tipo de válvula.
- Tamaño de la válvula.
- Construcción del cuerpo de válvula (angular, puerto doble, de mariposa, etc.).
- Guiado del obturador de la válvula (estilo jaula, guiado por puerto, etc.).
- Acción del obturador de la válvula (empuje hacia abajo para cerrar o empuje hacia abajo para abrir).
- Tamaño de puerto (completo o limitado).
- Materiales de internos de válvula requeridos.
- Acción del flujo (el flujo tiende a abrir la válvula o el flujo tiende a cerrar la válvula).
- Tamaño de actuador requerido.
- Estilo de bonete (sencillo, de extensión, con fuelle de estanqueidad, etc.).
- Material de empaquetadura
- Accesorios requeridos (posicionador, volante, etc.) (Creus, 2010).

El Cv nos permite estimar el flujo de líquido, vapor o gas a través de la válvula mediante las siguientes fórmulas (Básicas):

$$\text{Líquidos: } F = C_v \sqrt{\frac{\Delta P_v}{\gamma}} = C_v \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{\gamma}} \quad (12)$$

Vapor de agua:

$$F = \frac{2.1 C_v}{1 + 0.0007 T_{sh}} \sqrt{\Delta P_v (P_1 + P_2)} \quad (13)$$

$$= \frac{2.1 C_v}{1 + 0.0007 T_{sh}} \sqrt{(P_1 - P_2)(P_1 + P_2)}$$

$$\text{Gases: } F = 1360 C_v \sqrt{\frac{\Delta P_v (P_1 + P_2)}{G T_1}} \quad (14)$$

$$= 1360 C_v \sqrt{\frac{(P_1 - P_2)(P_1 + P_2)}{G T_1}}$$

Dónde:

F: Caudal. Para líquidos en (l/min), para vapor en (l/h) y para gases en (m³/seg) estándar (60 °F y 14.7 psia)

ΔP_v : Pérdida de carga en la válvula en (psia)

P1: Presión aguas arriba (psia)

P2: Presión aguas abajo (psia)

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

Tsh: Recalentamiento del vapor respecto de las condiciones de saturación (°F). Vale cero para vapor saturado.

G: Densidad relativa del gas respecto al aire a 60 °F y 14.7 psia +

T1: Temperatura del gas a la entrada de la válvula

Esto sólo se aplica cuando el régimen de flujo es subcrítico y turbulento. Además, para líquidos hay que verificar que no se produzca cavitación. Si el régimen es viscoso o de transición se deben aplicar otras fórmulas. Cuando hay vaporización parcial del líquido, el régimen es crítico y se tiene en cuenta con una ecuación de dimensionamiento distinta con un coeficiente adicional. Para gases, también se debe tener en cuenta si el régimen es crítico o de transición.

A pesar de que los métodos de dimensionamiento de válvula estándar son válidos para la mayoría de casos de dimensionamiento de válvula de control, es esencial tener en cuenta que los estándares definen sus límites de aplicación. Su uso fuera de sus límites establecidos se debe realizar con precaución. Los requisitos de los estándares para una precisión razonable son:

- Fluidos mono componente monofásicos.
- Fluidos newtonianos.
- Gases ideales y vapores.
- Una relación ideal de capacidades térmicas específicas en el rango $1,08 < \gamma < 1,65$ para gases y vapores.
- Válvulas con un $X_T \leq 0,84$.
- Válvulas con un $C_v/d^2 < 30$.

2.3.1. Dimensionamiento de válvulas para fluido compresible

Se detalla un procedimiento de 6 pasos para el dimensionamiento de válvulas de control para flujo compresible utilizando el procedimiento estandarizado de ISA.

1. Defina las variables requeridas para dimensionar la válvula de la forma siguiente:

- Diseño de válvula deseado (p.ej., globo balanceado con jaula lineal)
- Fluido de proceso (oxígeno, gas natural, vapor, etc.)
- Condiciones de servicio pertinentes: q o w , P_1 , P_2 o ΔP , T_1 , M , γ , y Z_1 o ρ_1

La capacidad de determinar los términos óptimos para un procedimiento de dimensionamiento específico solo se adquiere con la experiencia derivada de afrontar varios dimensionamientos de válvula distintos.

2. Determine las constantes de ecuación, N_2 , N_5 , y N_6 , N_8 , o N_9 , dependiendo de los datos de proceso disponibles y unidades utilizadas.

Estos valores N son constantes numéricas presentes en las ecuaciones de flujo y permiten utilizar sistemas de unidades distintos. N_6 se utiliza cuando el caudal se expresa en unidades de caudal másico y se conoce la densidad ρ_1 . Si se conoce la compresibilidad en lugar de la densidad, se utiliza N_8 para unidades de caudal másico, y N_9 para unidades de volumen de caudal estándar.

3. Determine F_P , factor de corrección por geometría de la cañería, y X_{TP} , el factor de relación de caída de presión ajustado para los racores conectados.

Para estos cálculos se utiliza un valor estimado de C_v y el correspondiente valor de

X_{TP} .

F_P es un factor de corrección que representa las pérdidas de presión derivadas de racores de canalización como racores reductores, racores acodados o racores en T que se pueden conectar de forma directa a las conexiones de entrada y salida de la válvula de control que dimensionar. Si tales racores se conectan a la válvula, se deben tener en cuenta. El procedimiento de dimensionamiento estándar proporciona un método que permite calcular el factor F_P para reductores concéntricos y expansores. Por otra parte, si no hay racores conectados a la válvula, F_P tiene un valor de 1,0 y simplemente no tiene efecto en la ecuación, y $X_{tp} = X_t$.

4. Determine la relación de caída de presión para el dimensionamiento, X_{sizing} , y el factor de expansión, Y .

Cuando la diferencia de presión aguas arriba y aguas abajo es suficientemente elevada, el flujo puede comenzar a experimentar estrangulamiento. Si la relación de caída de presión real a lo largo de la válvula, x , es superior que la relación de caída de presión que genera el estrangulamiento de flujo, se debe utilizar la relación de caída de presión de flujo estrangulado, X_{choked} , en lugar de la caída de presión real. Cuando se estrangula el flujo, el factor de expansión es igual a 2/3.

5. Calcule C_v

Si el valor de C_v no es próximo al estimado utilizado en el paso 3, repita el proceso con este valor nuevo de C_v y el valor correspondiente de X_t de la información del producto.

Cálculo del factor de corrección por geometría de la cañería (F_P) y el factor de relación de caída de presión (X_{TP}) en el flujo estrangulado con racores conectados (Emerson, 2019).

El valor de F_P para el dimensionamiento de flujo compresible se obtiene

$$F_P = \left[1 + \frac{\sum K}{N_2} \left(\frac{C_v}{d^2} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (15)$$

En la ecuación anterior, el término $\sum K$ es la suma algebraica de los coeficientes de pérdida de carga de velocidad de todos los racores conectados a la válvula de control.

$$\sum K = K_1 + K_2 + K_{B1} - K_{B2} \quad (16)$$

Donde:

K_1 = Coeficiente de resistencia de racores aguas arriba

K_2 = Coeficiente de resistencia de racores aguas abajo

K_{B1} = Coeficiente de Bernoulli en la entrada

K_{B2} = Coeficiente de Bernoulli en la salida

Y:

$$K_{B1} = 1 - \left(\frac{d}{D_1}\right)^4 \quad (17)$$

$$K_{B2} = 1 - \left(\frac{d}{D_2}\right)^4$$

Si la canalización aguas arriba y aguas abajo es del mismo tamaño, los coeficientes de Bernoulli también son iguales, $K_{B1} = K_{B2}$, y por ello no tienen efecto en la ecuación $\sum K$. El factor utilizado de forma más habitual en instalaciones de válvula de control es el reductor concéntrico corto. Las ecuaciones para este racor son las siguientes:

- Para un reductor de entrada:

$$K_1 = 0.5 \left(1 - \frac{d^2}{D_2^2}\right)^2 \quad (18)$$

- Para un reductor de salida:

$$K_2 = 1.0 \left(1 - \frac{d^2}{D_2^2}\right)^2 \quad (19)$$

- Para una válvula instalada entre reductores idénticos:

$$K_1 + K_2 = 1.5 \left(1 - \frac{d^2}{D_2^2}\right)^2 \quad (20)$$

X_{TP} se determina con la ecuación siguiente, utilizando el valor de X_T pertinente para el C_V de la válvula seleccionada:

$$X_{TP} = \frac{\frac{X_T}{F_P^2}}{1 + \frac{X_T(K_1 + K_{B1})}{N_5} \left(\frac{C_V}{d}\right)^2} \quad (21)$$

Cálculo de la relación de caída de presión para el dimensionamiento (X_{sizing}) y el factor de expansión (Y)

En primer lugar, determine el factor de relación calorífico específico, F_Y :

$$F_Y = \frac{\gamma}{1.4} \quad (22)$$

Se determina la relación de caída de presión de flujo estrangulado:

$$X_{choked} = F_Y \cdot X_{TP} \quad (23)$$

La relación de caída de presión que utilizar al calcular el coeficiente de flujo requerido, X_{sizing} , es entonces la menor de la caída de presión real del sistema, x , y la caída de presión de estrangulamiento, X_{choked} .

El factor de expansión se determina utilizando X_{sizing} y X_{choked} :

$$Y = 1 - \frac{X_{sizing}}{3 \cdot X_{choked}} \quad (24)$$

Cálculo del coeficiente de flujo (C_V)

Se utiliza una de las tres ecuaciones siguientes para calcular C_V , según el formato de los datos de proceso.

- Para la relación de caudal másico y densidad:

$$C_V = \frac{W}{N_6 F_P Y \sqrt{X_{sizing} P_1 \rho_1}} \quad (25)$$

- Para la relación de caudal másico y compresibilidad:

$$C_V = \frac{W}{N_8 F_P P_1 Y} \sqrt{\frac{T_1 Z_1}{X_{sizing}^M}} \quad (26)$$

- Para la relación de caudal volumétrico estándar y compresibilidad:

$$C_V = \frac{q}{N_9 F_P P_1 Y} \sqrt{\frac{M T_1 Z_1}{X_{sizing}}} \quad (27)$$

2.3.2. Problema de ejemplo de dimensionamiento de vapor sobrecalentado.

Suponga que el vapor se va a suministrar a un proceso diseñado para funcionar a 250 psig (17,2 bar). La fuente de suministro es un cabezal con unos valores constantes de 500 psig (34,5 bar) y 260 °C (500 °F).

La planificación incluye un conducto de cédula estándar NPS 6 (DN 150) desde el conducto principal de vapor al proceso. Asimismo, suponga que el tamaño requerido de válvula es inferior a NPS 6 (DN 150), y que se va a instalar con reductores concéntricos. (Emerson, 2019)

1- Defina las variables requeridas para dimensionar la válvula:

- Diseño de válvula deseado: Válvula Fisher ED de clase 300 con una jaula lineal. Suponga un tamaño de válvula de NPS 4 (DN 100).

- Fluido de proceso: vapor sobrecalentado.

- El conducto de cédula estándar de 6 pulgadas presenta $D = 6,1$ pulgadas.

- Condiciones de servicio:

$$w = 125.000 \text{ lb/h}$$

$$P_1 = 500 \text{ psig} = 514,7 \text{ psia}$$

$$P_2 = 250 \text{ psig} = 264,7 \text{ psia}$$

$$\Delta P = 250 \text{ psi}$$

$$x = \Delta P/P_1 = 250/514,7 = 0,49$$

$$T_1 = 260 \text{ °C} (500 \text{ °F})$$

$$\rho_1 = 1,042 \text{ Lbm/ft}^3$$

$$\gamma = 1,33$$

- Comience probando una válvula NPS 4 (DN 100) ED con unos internos lineales y una carrera del 100%:

$$C_v = 236$$

$$X_t = 0,690$$

2. Determine las constantes de ecuación, N_2 , N_5 , y N_6 , N_8 , o N_9 .

Para estas unidades, $N_2 = 890$ y $N_5 = 1000$. Para condiciones dadas de relación de caudal másico expresadas en lb/h y densidad en Lbm/ft³, utilice $N_6 = 63,3$.

3. Determine F_P , factor de corrección por geometría de la cañería, y X_{tp} , el factor de relación de caída de presión ajustado para los racores conectados.

Debido a que los conductos aguas arriba y aguas abajo presentan el mismo tamaño, los coeficientes de resistencia requeridos son:

$$K_1 = 0.5 \left(1 - \frac{d^2}{D_1^2} \right)^2 \quad (28)$$

$$= 0.5 \left(1 - \frac{4^2}{6.1^2} \right)^2 = 0.16$$

$$K_{B1} = 1 - \left(\frac{d}{D_1} \right)^4 = 1 - \left(\frac{4}{6.1} \right)^4 = 0.82$$

Y:

$$\sum K = 1.5 \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right)^2 \quad (29)$$

$$= 1.5 \left(1 - \frac{4^2}{6.1^2} \right)^2 = 0.49$$

Ahora, se calcula F_P :

$$F_P = \left[1 + \frac{\sum K}{N_2} \left(\frac{C_v}{d^2} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (30)$$

$$= \left[1 + \frac{0.49}{890} \left(\frac{236}{4^2} \right)^2 \right]^{-1/2} = 0.945$$

Por último, se calcula X_{tp} :

$$X_{TP} = \frac{\frac{X_T}{F_p^2}}{1 + \frac{X_T(K_1 + K_{B1})}{N_5} \left(\frac{C_V}{d^2} \right)^2} \quad (31)$$

$$= \frac{\frac{0.69}{0.945^2}}{1 + \frac{0.69(0.16+0.82)}{1000} \left(\frac{236}{4^2} \right)^2} = 0.67$$

4- Se determina la relación de caída de presión para el dimensionamiento, X_{sizing} , y el factor de expansión, Y .

En primer lugar, determine el factor de relación calorífico específico, F :

$$F_Y = \frac{Y}{1.4} \quad (32)$$

$$= \frac{1.33}{1.4} = 0.95$$

Se utiliza este valor para determinar la relación de caída de presión de estrangulamiento:

$$X_{choked} = F_Y \cdot X_{TP} \quad (33)$$

$$= 0.95 \cdot 0.67 = 0.64$$

La relación de caída de presión de flujo estrangulado es superior a la relación de caída de presión real, con lo que:

$$X_{sizing} = x = 0.49 \quad (34)$$

El factor de expansión, Y , es:

$$Y = 1 - \frac{X_{\text{sizing}}}{3 \cdot X_{\text{choqued}}} = 0.75 \quad (35)$$

5. Calcule C_v :

$$C_v = \frac{W}{N_6 F_P Y \sqrt{X_{\text{sizing}} P_1 \rho_1}} \quad (36)$$

$$= \frac{125.000}{63.3 \cdot 0.945 \cdot 0.75 \sqrt{0.49 \cdot 514.7 \cdot 1.042}} = 173$$

La iteración utilizando valores de X_t tomados del catálogo de productos ofrece como resultado requisitos de $C_v = 169$ y $X_T = 0,754$. Esto se da con una apertura aproximada del 66%, de forma que una válvula NPS 4 (DN 100) ED con unos internos lineales es una solución aceptable en relación a la capacidad. La siguiente válvula ED de menor tamaño con internos lineales presenta un valor nominal de C_v de solo 148, por lo que no es una válvula adecuada para este caso. (Emerson, 2019)

2.4. Proceso de selección y dimensionamiento de la válvula de vapor de sellaje SG11S201

2.4.1 Selección de la válvula

El Cilindro de alta-media y baja presión de la Turbina de vapor de 250MW utiliza vapor de agua a 662°F y 14.8 psi. El vapor entra a la cámara en un flujo de 3747.8 lb/h debe controlarse de manera precisa a través de una válvula de control que produzca una caída de presión de 10.4 psi.

Datos

$$\Delta P = 10.4 \text{ psi} \quad P_1 = 14.8 \text{ psi} \quad W = 3747.8 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

Usando la caída de presión puede calcularse la presión 2

$$P_2 = 4.4 \text{ psi}$$

Se observa además que ΔP es mayor que el 25% de P_1

Condiciones de operación:

Para el estado 1:

$$P_1 = 14.8 \text{ psi}$$

$$T_1 = 662^\circ\text{F}$$

Convirtiendo unidades:

$$P_1 = 102042.4 \text{ Pa}$$

$$T_{1c} = 350^\circ\text{C}$$

En la tabla de vapor, a la presión dada de 102 kPa, buscamos la temperatura de saturación

$$T_{\text{sat}} = 100^\circ\text{C}$$

Es obvio que la diferencia entre la temperatura de entrada y la de saturación es mayor a 15°C , luego podemos asumir que no hay cavitación debida al cambio de fase.

Buscamos los grados de sobrecalentamiento y los convertimos a diferencia de Fahrenheit

$$T_{\text{sh}} = \frac{9}{5} (T_{1c} - T_{\text{sat}})$$

$$T_{\text{sh}} = 450 \text{ }^\circ\text{F}$$

Selección de la válvula

La caída de presión es alta y no hay cavitación. El fluido es limpio y sin sólidos en suspensión. Se desea accionamiento frecuente. Se selecciona entonces una **válvula de globo** (Tabla 2. Anexos).

Para el cálculo del Cv se utiliza el catálogo Masoneilan

Cálculo del Cv de la válvula

Flujo volumétrico de vapor de agua (Catálogo Masoneilan)

$$Cv = \frac{W(1+0.0007T_{\text{sh}})}{1.83 \cdot C_f \cdot P_1 \cdot (y-0.148) \cdot y^3} \quad (37)$$

Donde

$$y = \frac{1.63}{C_f} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{P_1}} \quad (38)$$

Si "y" es mayor que 1.5 entonces se usa "y" igual a 1.5

De la tabla 2 (Anexos) se obtiene $C_f = 0.9$

Calculamos Y

$$y = \frac{1.63}{C_f} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{P_1}} \quad (39)$$

$$y = 1.5$$

Obtenemos: $C_v = 202.23$

La válvula a seleccionar es una Válvula de Globo con C_v de 202.23, para un flujo de vapor de 3747.8 lb/h a 350 °C y 1.02 bar con una caída de presión de 0.71 bar.

2.4.2. Dimensionamiento de la válvula

El vapor se va a suministrar a un proceso diseñado para funcionar a 10.4 psi

(0.71bar). La fuente de suministro es un cabezal con unos valores constantes de 14.8 psi (1.02 bar) y 350 °C (662°F).

1-Defina las variables requeridas para dimensionar la válvula:

- Diseño de válvula deseado: Válvula de clase 300 con una jaula lineal. Tamaño de válvula de NPS 4 (DN 100).(Tabla 3. Anexos)

- Fluido de proceso: vapor de agua sobrecalentado.

- El conducto de cédula estándar de 15 pulgadas presenta $D = 15.12$ pulgadas.

- Condiciones de servicio:

$$W = 3747.8 \text{ lb/h}$$

$$P_1 = 14.8 \text{ psi}$$

$$P_2 = 4.4 \text{ psi}$$

$$\Delta P = 10.4 \text{ psi}$$

$$x = \Delta P/P_1 = 10.4/14.8 = 0.70$$

$$T_1 = 350 \text{ °C (662 °F)}$$

$$\rho_1 = 0.36 \text{ kg/m}^3 = 0.0224 \text{ lb/ft}^3$$

$$\gamma = 1,33$$

- Se comienza probando una válvula NPS 4 (DN 100) con unos internos lineales y una carrera del 100%:

$$C_v = 202.23$$

$$X_t = 0,690$$

2. Determine las constantes de ecuación, N_2 , N_5 , y N_6 , N_8 , o N_9 .

Para estas unidades, $N_2 = 890$ y $N_5 = 1000$ (Tabla 5. Anexos). Para condiciones dadas de relación de caudal másico expresadas en lb/h y densidad en Lbm/ft³, utilice $N_6 = 63,3$.

3. Se determina F_P , factor de corrección por geometría de la cañería, y X_{tp} , el factor de relación de caída de presión ajustado para los racores conectados.

Debido a que los conductos aguas arriba y aguas abajo presentan el mismo tamaño, los coeficientes de resistencia requeridos son:

$$K_1 = 0.5 \left(1 - \frac{d^2}{D_1^2} \right)^2 \quad (40)$$

$$= 0.5 \left(1 - \frac{4^2}{15.12^2} \right)^2 = 0.43$$

$$K_{B1} = 1 - \left(\frac{d}{D_1} \right)^4 \quad (41)$$

$$= 1 - \left(\frac{4}{15.12} \right)^4 = 0.99$$

Y:

$$\sum K = 1.5 \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right)^2 \quad (42)$$

$$= 1.5 \left(1 - \frac{4^2}{15.12^2} \right)^2 = 1.29$$

Ahora, se calcula F_P :

$$F_P = \left[1 + \frac{\sum K}{N_2} \left(\frac{C_v}{d^2} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (43)$$

$$= \left[1 + \frac{1.29}{890} \left(\frac{202.23}{4^2} \right)^2 \right]^{-1/2} = 0.90$$

Por último, se calcula X_{tp} :

$$X_{TP} = \frac{\frac{x_T}{F_p^2}}{1 + \frac{x_T(K_1 + K_{B1})}{N_5} \left(\frac{C_V}{d^2} \right)^2} \quad (44)$$

$$= \frac{\frac{0.69}{0.90^2}}{1 + \frac{0.69(0.43 + 0.99)}{1000} \left(\frac{202.23}{4^2} \right)^2} = 0.74$$

4- Se determina la relación de caída de presión para el dimensionamiento, X_{sizing} , y el factor de expansión, Y .

En primer lugar, determine el factor de relación calorífico específico, F :

$$F_Y = \frac{Y}{1.4} \quad (45)$$

$$= \frac{1.33}{1.4} = 0.95$$

Se utiliza este valor para determinar la relación de caída de presión de estrangulamiento:

$$X_{choked} = F_Y \cdot X_{TP} \quad (46)$$

$$= 0.95 \cdot 0.74 = 0.70$$

La relación de caída de presión de flujo estrangulado es superior a la relación de caída de presión real, con lo que:

$$X_{sizing} = x = 0.70 \quad (47)$$

El factor de expansión, Y, es:

$$Y = 1 - \frac{X_{sizing}}{3 \cdot X_{choqued}} = 0.67 \quad (48)$$

5- Calcule Cv:

$$C_V = \frac{W}{N_6 F_P Y \sqrt{X_{sizing} P_1 \rho_1}} \quad (49) \quad =$$

$$\frac{3747.8}{63.3 \cdot 0.90 \cdot 0.67 \sqrt{0.70 \cdot 14.8 \cdot 0.0224}} = 204$$

La iteración utilizando valores de X_t tomados del catálogo de productos ofrece como resultado requisitos de $C_v = 236$ y $X_t = 0.69$ (Tabla 6. Anexos). Esto se da con una apertura aproximada del 86%, de forma que una válvula NPS 4 ,DN 100 , (Tabla 3. Anexos) con unos internos lineales es una solución aceptable en relación a la capacidad. Entonces podemos concluir que según los datos obtenidos, la caída de presión es alta y no hay cavitación, el fluido es limpio y sin sólidos en suspensión, se desea accionamiento frecuente, por lo cual se debe seleccionar una **válvula de globo** (Tabla 2. Anexos) con C_v de 202.23, para un flujo de vapor de 3747.8 lb/hr a 662 °F (350°C) (Tabla 7. Anexos) y 14.8 psi (1.02 bar) con una caída de presión de 10.4 psi (0.71 bar) (Tabla 8. Anexos).

Teniendo la válvula seleccionada podemos pasar a su dimensionamiento y repitiendo el proceso utilizando valores de factor de relación de caída de presión en el flujo estrangulado (X_t) tomados del catálogo de productos ofrece como resultado, requisitos de $C_v = 236$ y $X_t = 0.69$ (Tabla 6. Anexos). Esto se da con una apertura aproximada del 86%, de forma que una válvula NPS 4 ,DN 100, (Tabla 3. Anexos) con unos internos lineales, es una solución aceptable en relación a la capacidad de flujo de vapor de la Turbina de 250 MW.

2.5. Valoración económica y de impacto ambiental

La correcta selección y dimensionamiento de las válvulas de control tienen un impacto directo en el presupuesto de la ETE Lidio Ramón Pérez, dado el alto valor en el mercado internacional de estas válvulas, es imprescindible escoger la correcta, por ello es fundamental disponer en la empresa de esta metodología, que permite a

los ingenieros, técnicos u operarios obtener de manera eficiente estos dispositivos de control automático y así en lugar de tener que enviar una hoja de cálculos con los datos básicos de la válvula que se desea, para que el propio fabricante la seleccione, se podría seleccionar en la misma ETE y así solo comprar la válvula según sus propias mediciones y cálculos.

Uno de los principales problemas medioambientales que generan las válvulas de control es el ruido. El nivel de ruido generado por una propuesta de instalación de válvula de control se puede predecir de forma rápida y razonable mediante el uso de métodos estándar del sector. Estos métodos están disponibles en software informático para facilitar su uso. Tales herramientas de dimensionamiento y de predicción del ruido facilitan la selección adecuada del equipo de reducción de ruido. Los requisitos de instalaciones de procesado para un impacto medioambiental bajo continuarán impulsando la necesidad de válvulas de control más silenciosas. Las tecnologías de predicción y los diseños de válvula pertinentes evolucionan de forma constante.

En sistemas cerrados (sin evacuación a la atmósfera), cualquier ruido generado en el proceso se propaga por el aire solo mediante la transmisión por las válvulas y la canalización adyacente que contiene el flujo. El campo sonoro del flujo fuerza la vibración de los límites sólidos. Las vibraciones provocan alteraciones ambientales que se propagan como ondas sonoras. La Fig.15 representa estrategias de tratamiento de la fuente de estilo jaula. La vista superior muestra una jaula con varias ranuras estrechas en paralelo que minimizan la turbulencia y proporcionan una distribución de la velocidad favorable en la sección de expansión. Esta estrategia económica del diseño de válvula silenciosa puede proporcionar una reducción del ruido de 15 a 20 dBA con poca o ninguna reducción de la capacidad de flujo.

La vista inferior en la Figura 15 muestra los internos de dos etapas y estilo jaula diseñados para una reducción óptima del ruido cuando se dan relaciones elevadas de caída de presión ($\Delta P/P_1$) (Emerson, 2019)



Fig. 15 Diseño de internos de válvula para la reducción de ruido

Este diseño de internos puede reducir el ruido de válvula en hasta 30 dBA. Los sistemas de control con expulsión a la atmósfera presentan habitualmente un nivel de ruido alto debido a las relaciones de presión y velocidades de salidas altas implicadas. Dividir la caída de presión total entre el propio orificio de ventilación y una válvula de control aguas arriba, mediante un difusor de ventilación, silencia la válvula y el orificio de ventilación. (Emerson, 2019)

CONCLUSIONES

1. Se realizó una revisión bibliográfica actualizada que permitió elaborar el marco teórico de la investigación, resaltando la identificación de los principales tipos de válvulas de control, su principio de funcionamiento y los recursos que ofrecen los fabricantes para facilitar el proceso de selección y dimensionamiento.
2. Se elaboró y aplicó una metodología para la selección y el dimensionamiento de las válvulas de control de vapor de sellaje de la Turbina de 250 MW, que permitirá seleccionar los dispositivos de control automático.
3. Se hizo una valoración del impacto económico que tiene para la ETE, la utilización de una metodología de selección y dimensionamiento para las válvulas de control de forma correcta y eficiente.
4. Se analizó su incidencia en el medio ambiente, y qué se debe hacer para mitigar el ruido que producen estos dispositivos.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar este trabajo en la ETE Lidio Ramón Pérez como material de consulta para seleccionar válvulas de control de vapor de sellaje.
2. Continuar la investigación para perfeccionar la selección y el dimensionamiento de las válvulas de control de vapor de sellaje.
3. Obtener más información sobre el presupuesto del proyecto para realizar un análisis más preciso de costo-beneficio.

BIBLIOGRAFÍA

ALEMÁN, Y. 2007. Software para el diseño y selección de válvulas de control. UCLV

ALVAREZ, E. N. 2005. Válvulas de Control.

CAMPO, A. 2014. Válvulas de control Selección y cálculo

CASTELLANOS, D. 2010. Elementos Finales de Control.

Catálogos y uso de catálogos:

http://www.herrera.unt.edu.ar/controldeprocesos/tema_3/index.html

Contaminación por ruido. http://www.conam.gob.pe/educamb/cont_ruido.htm.

Cómo dimensionar una válvula de control

<http://www.instrumentacionycontrol.net/es/curso-completoinstrumentacion-industrial/226-como-dimensionar-una-valvula-de-controlpasos-simples-y-eficaces>

CREUS, A. 2010. Instrumentación Industrial.

Doebelin, Ernest. Sistemas de medición e instrumentación. Quinta edición. Capítulo II. Páginas 12 a 36.

Emerson, Automation Solutions. 2019. Guía de válvulas de control

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA. Universidad Nacional Tucumán – Argentina.

Localizado en la página:

https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol/wpcontent/uploads/sites/101/2016/05/8_V%C3%A1lvulas-de-control_2016.pdf

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA FÍSICAS Y FORMALES – PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA – UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTA MARÍA

Localizado en la página: <https://core.ac.uk/download/pdf/54219750.pdf>

HERRERA, N. C. 2006. Ingeniería e Implementación de un Prototipo Parcial de una Válvula de Control de Flujo. Pamplona.

JMC 2015. JMC Catálogo de Válvulas.

Marrero, J. y* Sigarreta, S. 2017. Evaluación Ambiental y social del proceso de rehabilitación, puesta en marcha y operación de la unidad 1 de la ETE Lidio Ramón Pérez.

Masoneilan Inc. : <http://www.masoneilan.com/>

ORTEGA, M. 2010. La Válvula de Control.

Requez, J.P. 2012. Guía didáctica Principios de Medición y Control. Capítulo 6

Roche, D. 2017. Aplicación Web para selección de válvulas de control. UCLV

Smith, Carlos y Corripio, Armando. Control Automático de Procesos. Editorial Limusa. Capítulo 5, páginas 180 a 198 y Apéndice C, páginas 674 a 699.

Soisson, Harold. Instrumentación Industrial. Primera edición. Capítulo VIII, Páginas 284 a 316.

ANEXOS

Tabla 1. Abreviaturas y terminología

Símbolo		Símbolo	
C_v	Coefficiente de dimensionamiento de válvula	ΔP	Caída de presión (P_1-P_2) a lo largo de la válvula
d	Tamaño nominal de válvula	ΔP_{choked}	Caída de presión de líquido que limita el flujo por estrangulamiento
D_1, D_2	Diámetro interno de la canalización aguas arriba y aguas abajo, respectivamente	ΔP_{sizing}	Valor de la caída de presión utilizada para cálculos de dimensionamiento de líquido
F_d	Modificador de estilo de válvula, sin medida	q	Caudal volumétrico estándar ⁽¹⁾
F_f	Factor de relación de presión crítica del líquido, sin medida	T_1	Temperatura absoluta aguas arriba
F_y	Relación de factores caloríficos específicos, sin medida	w	Caudal másico
F_L	Factor de recuperación de presión de líquido, sin medida	x	Relación de caída de presión a lo largo de la válvula a presión estática absoluta aguas arriba ($\Delta P/P_1$), sin medida
F_{LP}	Combinación del factor de recuperación de presión de líquido y del factor de corrección por geometría de la cañería de una válvula con racores conectados (si no hay racores conectados, F_{LP} es igual a F_L), sin medida	x_{choked}	Relación de caída de presión con estrangulamiento para un flujo compresible
F_p	Factor de corrección por geometría de la cañería, sin medida	x_{sizing}	Valor de relación de caída de presión utilizado para el dimensionamiento compresible
K	Coefficiente de pérdida de carga de un dispositivo, sin medida (indicado con ζ en los estándares de dimensionamiento)	x_T	Factor de relación de caída de presión en el flujo estrangulado, sin medida
M	Peso molecular	x_{TP}	Factor de relación de caída de presión en el flujo estrangulado con racores conectados, sin medida
N	Constante numérico, utilizado para representar varios conjuntos de unidades	Y	Factor de expansión, sin medida
P_1	Presión estática absoluta aguas arriba	Z_1	Factor de compresibilidad en las condiciones de admisión, sin medida
P_2	Presión estática absoluta aguas abajo	γ	Relación ideal de valores caloríficos específicos, sin medida
P_c	Presión crítica termodinámica absoluta	ν	Viscosidad cinemática
P_v	Presión absoluta de vapor del líquido a la temperatura de admisión	ρ_1	Densidad en condiciones de admisión
		ρ_1/ρ_o	Gravedad específica del líquido en la admisión (relación de densidad del líquido a temperatura de circulación y densidad del agua a 15,5 °C (60°F)), sin medida

1. Las condiciones estándar se definen a 15,5 °C (60 °F) y 14,7 psia (101,3 k Pa).

Tabla 2. Condiciones de operación de algunas válvulas

	Válvula de Globo	Válvula Saunders	Válvula de Bola	Válvula de Mariposa	Válvula de obturador excéntrico rotativo
Tamaño	1 a 36 in	1 a 20 in	1 a 24 in	2 a 36 in	1 a 12 in
Sólidos en suspensión	No	Si	Si	No	Si
Rango de T (°C)	-200 a 540	-40 a 150	-200 a 400	-50 a 250	-200 a 400
Apertura rápida	Si	Si	No	No	No
Rango de flujo	De 20:1 a 100:1	De 3:1 a 15:1	De 50:1 a 350:1	De 15:1 a 50:1	De 30:1 a 100:1
Caída de presión	Alta	Alta	Baja	Baja	Alta

Tabla 3. Medidas de superficie a superficie de válvulas de control de estilo globo

Tamaño de la válvula		Valores nominales de presión y conexiones finales					
		Clase 300 RTJ (STL)		Clase 600 RF (STL)		Clase 600 RTJ (STL)	
DN	NPS	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg
15	1/2	202	7,94	203	8,00	203	8,00
20	3/4	206	8,12	206	8,12	206	8,12
25	1	210	8,25	210	8,25	210	8,25
40	1-1/2	248	9,75	251	9,88	251	9,88
50	2	282	11,12	286	11,25	284	11,37
65	2-1/2	308	12,12	311	12,25	314	12,37
80	3	333	13,12	337	13,25	340	13,37
100	4	384	15,12	394	15,50	397	15,62
150	6	489	19,24	508	20,00	511	20,12
200	8	584	23,00	610	24,00	613	24,12
250	10	724	28,50	752	29,62	755	29,74
300	12	790	31,12	819	32,25	822	32,37
350	14	943	37,12	972	38,25	475	38,37
400	16	1073	42,24	1108	43,62	1111	43,74

Abreviaturas utilizadas: STL - acero

Tabla 4. C_f para distintas válvulas según catálogo Masoneilan

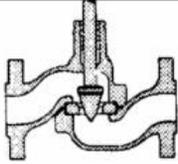
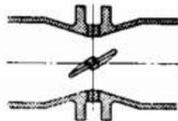
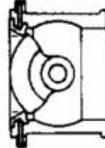
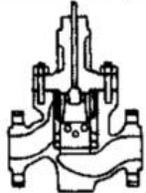
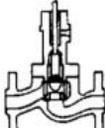
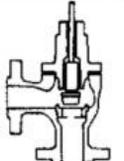
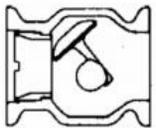
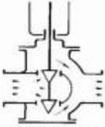
Ilustración	Nombre	C_f
	Válvula de globo con cuerpo dividido	0.8
	Válvula de Mariposa	0.65
	Válvula de Bola	0.6
	Válvula de Jaula	0.94
	Válvula de Globo	0.9
	Válvula en ángulo	0.81
	Válvula obturador excéntrico Rotativo	0.68
 <p data-bbox="366 1630 464 1650">b) Doble asiento</p>	Válvula de Doble Asiento	0.9

Tabla 5. Constantes de ecuación

		N	w	q	P ⁽²⁾	ρ	T	d, D
N ₁		0,0865	---	m ³ /h	kPa	---	---	---
		0,865	---	m ³ /h	bar	---	---	---
		1,00	---	gpm	psia	---	---	---
N ₂		0,00214 890	---	---	---	---	---	mm pulg
N ₅		0,00241 1000	---	---	---	---	---	mm pulg
N ₆		2,73	kg/h	---	kPa	kg/m ³	---	---
		27,3	kg/h	---	bar	kg/m ³	---	---
		63,3	lb/h	---	psia	lbm/ft ³	---	---
N ₈		0,948	kg/h	---	kPa	---	K	---
		94,8	kg/h	---	bar	---	K	---
		19,3	lb/h	---	psia	---	deg R	---
N ₉ ⁽³⁾	Condiciones normales	21,2	---	m ³ /h	kPa	---	K	---
	T _N = 0 °C	2120	---	m ³ /h	bar	---	K	---
	Condiciones estándar	22,5	---	m ³ /h	kPa	---	K	---
	T _s = 15 °C	2250	---	m ³ /h	bar	---	K	---
	Condiciones estándar T _s = 60 °F	7320	---	scfh	psia	---	deg R	---

1. Varias de las ecuaciones utilizadas en estos procedimientos de dimensionamiento contienen una constante numérica N con un subíndice numérico. Estas constantes numéricas permiten utilizar unidades distintas en las ecuaciones. Los valores de varias constantes y sus unidades aplicables se indican en la tabla anterior. Por ejemplo, si el caudal se expresa en U.S. gpm y las presiones en psia, N₁ tiene un valor de 1,00. Si el caudal se expresa en m³/h y las presiones en kPa, la constante N₁ se convertiría en 0,0865.

2. Todas las presiones son absolutas.

3. La presión base es 101,3 kPa (1,013 bar) (14,7 psia).

Tabla 6. Coeficientes de dimensionamiento representativos para cuerpos de válvula de estilo globo

Tamaño de válvula (NPS)	Estilo del obturador de la válvula	Características de flujo	Diám. de puerto (in.)	Carrera nominal (in.)	C _v	F _L	X _T	F _D
1/2	Guiado por poste	Igual porcentaje	0,38	0,50	2,41	0,90	0,54	0,61
3/4	Guiado por poste	Igual porcentaje	0,56	0,50	5,92	0,84	0,61	0,61
1	Micro-Form	Igual porcentaje	3/8	3/4	3,07	0,89	0,66	0,72
	---	---	1/2	3/4	4,91	0,93	0,80	0,67
	---	---	3/4	3/4	8,84	0,97	0,92	0,62
	Guiado por jaula	Lineal	1-5/16	3/4	20,6	0,84	0,64	0,34
Igual porcentaje		1-5/16	3/4	17,2	0,88	0,67	0,38	
1-1/2	Micro-Form	Igual porcentaje	3/8	3/4	3,20	0,84	0,65	0,72
	---	---	1/2	3/4	5,18	0,91	0,71	0,67
	---	---	3/4	3/4	10,2	0,92	0,80	0,62
	Guiado por jaula	Lineal	1-7/8	3/4	39,2	0,82	0,66	0,34
Igual porcentaje		1-7/8	3/4	35,8	0,84	0,68	0,38	
2	Guiado por jaula	Lineal	2-5/16	1-1/8	72,9	0,77	0,64	0,33
		Igual porcentaje	2-5/16	1-1/8	59,7	0,85	0,69	0,31
3	Guiado por jaula	Lineal	3-7/16	1-1/2	148	0,82	0,62	0,30
		Igual porcentaje			136	0,82	0,68	0,32
4	Guiado por jaula	Lineal	4-3/8	2	236	0,82	0,69	0,28
		Igual porcentaje			224	0,82	0,72	0,28
6	Guiado por jaula	Lineal	7	2	433	0,84	0,74	0,28
		Igual porcentaje			394	0,85	0,78	0,26
8	Guiado por jaula	Lineal	8	3	846	0,87	0,81	0,31
		Igual porcentaje			818	0,86	0,81	0,26

Tabla 7. Fórmulas de conversión de temperatura

Para convertir desde	A	Sustituya en la fórmula
Grados Celsius	Grados Fahrenheit	$(^{\circ}\text{C} \times 9/5) + 32$
Grados Celsius	Kelvin	$(^{\circ}\text{C} + 273,16)$
Grados Fahrenheit	Grados Celsius	$(^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9$
Grados Fahrenheit	Grados Rankine	$(^{\circ}\text{F} + 459,69)$

Tabla 8. Conversión de presión: libras por pulgada cuadrada a bar

Libras por pulgada cuadrada	0	1	2	3	4
	Bar				
0	0,000000	0,068948	0,137895	0,206843	0,275790
10	0,689476	0,758423	0,827371	0,896318	0,965266
20	1,378951	1,447899	1,516847	1,585794	1,654742
30	2,068427	2,137375	2,206322	2,275270	2,344217
40	2,757903	2,826850	2,895798	2,964746	3,033693
50	3,447379	3,516326	3,585274	3,654221	3,723169
60	4,136854	4,205802	4,274750	4,343697	4,412645
70	4,826330	4,895278	4,964225	5,033173	5,102120
80	5,515806	5,584753	5,653701	5,722649	5,791596
90	6,205282	6,274229	6,343177	6,412124	6,481072
100	6,894757	6,963705	7,032652	7,101600	7,170548

*Nota: Para convertir a kilopascales, desplace el punto decimal dos posiciones hacia la derecha. Para convertir a megapascales, desplace el punto decimal una posición a la izquierda. Por ejemplo, 30 psi = 2,068427 bar = 206,8427 kPa = 0,2068427 MPa.
Nota: Redondee hacia abajo los valores decimales para obtener el grado de precisión deseado exacto.*

Tabla 9. Parámetros de la válvula SG11S201

Parámetros	Válvula SG11S201
W (lb/h)	3747.8
P1(psi)	14.8
P2(psi)	4.4
ΔP (psi)	10.4
ρ (kg/m ³)	0.36
T(°F)	662