



We Solve Control Valve Problems

Control De Flujo De Agua Y Vapor En Una Planta De Fuerza

.....
Ing. Agustín Arroyo Arroyo

Veracruz, Veracruz, México. 29 y 30 de septiembre
y 1o. de octubre de 1999

**22591 Avenida Empresa
Rancho Santa Margarita, CA 92688
949.858.1877 • Fax 949.858.1878 • ccivalve.com**

Control De Flujo De AUGA Y Vapor En Una Planta De Fuerza

■ By Austin Arroyo Arroyo (CCI)

9o CONGRESO DE NACIONAL DE MAQUINAS ELECTRICAS ROTATORIAS 8o SIMPOSIUM INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA A.M.I.M.E.

Veracruz, Veracruz, México. 29 Y 30 de septiembre y 1o. de octubre de 1999

RESUMEN

El objetivo de una planta de fuerza es la generación de corriente eléctrica.

Los costos de producir cada MW deben de tomarse muy en consideración para lograr la competitividad y la productividad a nivel global.

Por lo tanto al proyectar una nueva planta de fuerza o al necesitar substituir equipo, debe de analizarse el punto de vista del control de flujo de agua y vapor pues si no se proyecta como debe de ser, desde el principio los resultados a la hora de la producción aunque se opere normalmente pueden ser anómalos si no se produce totalmente lo esperado y si se produce el total puede ser a muy alto costo.

Las válvulas de control son el dispositivo que regulan el gasto del agua o el vapor, y si son mal diseñadas pueden ocasionar cavitación en el caso del agua, y cuando se trata de vapor niveles muy altos de sonido asociado con vibración, lo que actualmente ya no se permite, ya que un buen diseño evita estos fenómenos y los efectos destructivos del * FLASHING *

En este trabajo se mencionan detalles de cómo especificar, evaluar y seleccionar parte del equipo de control del flujo de agua y vapor.

CONSIDERACIONES EN EL FLUJO DE AGUA Y VAPOR.

El flujo de agua o vapor a través de todos los sistemas de la planta se efectúa por medio de tuberías, bombas, válvulas de bloqueo, recipientes, cambiadores de calor, condensador, caldera, turbinas, etc. El agua o el vapor ocasionan desgastes que se consideran normales en todas las partes del sistema por corrosión o erosión, pero cuando se detecta erosión mayor se debe de analizar el caso rápidamente para eliminar la causa. El agua y el vapor deben de ser inocuos desde el punto de vista de la corrosión, pero su temperatura puede causar corrosividad aumentando los óxidos de hierro. La erosión es el desgaste de un sólido cuando un líquido o gas en contacto con él pasa a cierta

velocidad. La erosión es proporcional a la velocidad del agua o el vapor.

De acuerdo con lo anterior y considerando que en una planta de fuerza debe de tenerse controlada la corrosividad del agua y el vapor, también debe de controlarse la velocidad del agua y el vapor.

Los libros técnicos recomiendan que el agua y el vapor por donde circulen deben de manejarse a :

velocidad del agua < 3 metros por segundo.

velocidad del vapor < 30 metros por segundo.

Estas velocidades se pueden generalizar para cualquier líquido o gas / vapor.

DIAGRAMAS DE FLUJO DE AGUA Y VAPOR.

En los diagramas de flujo se ve la ruta que sigue el agua o el vapor en la planta.

El agua recibe varios nombres según su calidad: De pozos, de río, de mar, tratada, condensado, alimentación, de enfriamiento, de recirculación, atemperación, etc.

También al vapor se le dan varios nombres según su procedencia, aplicación, etc: Sobrecalentado, recalentado, saturado, auxiliar, de atomización, de soplado, de calentamiento, de presión baja, intermedia y alta, para vacío, etc.

La ruta tradicional del agua a una planta de fuerza es a almacenamiento, tratamiento, precalentamiento, calentamiento y de ahí cambia de fase al convertirse en vapor y después vuelve a cambiar de fase al volverse condensado.

El agua se mueve por medio de bombas accionadas por motor eléctrico o turbina de vapor.

El vapor se genera a la presión máxima de diseño de la planta y de ahí se toma para mover máquinas, para calentamiento, vacío, atomización, etc. El vapor se puede recircular en parte, pero no se puede almacenar, se debe de utilizar instantánea y constantemente.

El vapor se mueve utilizando la presión a que fue generado hacia los sistemas de vapor de menor presión.

Las plantas de ciclo combinado generan una gran parte de los MW por medio de una turbina alimentada con gas, diesel o combustóleo, y los gases de combustión ricos aún en monóxido de carbono y calientes junto con combustibles se aprovechan en el horno de un economizador generador de vapor para utilizarlo en un turbogenerador.

Las plantas de vapor y nucleares generan el vapor y los MW exclusivamente por medio del combustible que utilizan, en la caldera o el reactor.

Por lo tanto las plantas de fuerza en general están formadas por dos grandes sistemas: El de flujo de fluidos correspondiente al manejo de agua y vapor y el sistema generador de corriente eléctrica.

En un diagrama general de una planta de fuerza se puede ver la comparación de estos sistemas.

CONDICIONES DE OPERACIÓN Y ESPECIFICACIONES.

Es muy conveniente manejar solamente líquidos o gases / vapores en un sistema. Si se tiene una fase mixta líquido vapor se complica el funcionamiento. Los sólidos representan un problema específico que debe ser eliminado por filtrado, pues de otra manera dañará rápidamente los componentes por donde circulen. La calidad del agua que se utilice es básica, o sea que no debe tener contaminantes sólidos y los compuestos en disolución son permisibles en muy pequeña escala, por lo que todos los tipos de agua en una planta de fuerza se consideran como tal.

Los procesos diferentes de generación de vapor son similares y normalmente la temperatura y presión del agua que manejan las bombas no permiten la formación de fase mixta. Si se observaran problemas se deben de revisar estas condiciones y corregirse. La temperatura del vapor sobrecalentado producido no debe ser excesiva, solo suficiente para evitar baja calidad del mismo en cualquier parte del sistema.

Los flujos, presiones y temperaturas de operación de cada equipo vienen dadas en el diagrama de proceso, y puede ser mas de una condición. Las hojas de datos de cada equipo deben mostrar las diferentes condiciones de operación dadas por el licenciador. El diseño del equipo debe de hacerse de acuerdo con dichas hojas de datos. Por lo tanto las condiciones de operación para diseñar serán: Flujo, temperatura y presión.

Cuando se estudia la filosofía de funcionamiento del proceso, se establecen las especificaciones que deben aplicarse. Por ejemplo velocidad máxima de los fluidos, nivel de sonido a un metro de distancia, hermeticidad al estar cerrada la válvula, velocidad de apertura o cierre, característica, etc.

VÁLVULAS DE CONTROL AUTOMÁTICO.

El dispositivo que permite la variación del flujo de agua o vapor es la válvula de control. Una válvula de control automático está formada por el cuerpo, los internos, el actuador, el posicionador y los accesorios. Normalmente se utilizan válvulas de dos tipos: Ángulo o globo. De acuerdo a la diferencia de presiones de entrada y salida de la válvula, estas se dividen en: Válvulas de control convencionales y de servicio severo o crítico.

Las convencionales son las que de acuerdo con el diseño de un sistema de flujo de fluidos y las condiciones de operación, la presión antes de la válvula o sea la presión de entrada a la válvula (P_e) es solo mayor un 10% que la presión a la salida de la misma (P_s), y muestra una expresión matemática similar a:

$(P_e - P_s) / P_e = \delta < 0.1$, por ejemplo $P_e = 100$ y $P_s = 90$, luego:

$$(100 - 90) / 100 = 0.1$$

Las válvulas de control de servicio severo son las que muestran una expresión matemática similar a la siguiente:

$(P_e - P_s) / P_e > 0.1$, por ejemplo: $P_e = 100$ y $P_s = 10$, luego

$$(100 - 10) / 100 = 0.9 > 0.1$$

sin embargo una válvula de servicio severo verdadero es aquella cuya Presión de entrada P_e es el doble o más que su presión de salida, aunque en algunos casos dependiendo de la temperatura, presión y tipo de fluido, aunque la presión de salida sea mayor, se considera como válvula crítica, por ejemplo: $P_e = 100$; $P_s = 50$, luego:

$$(100 - 50) / 100 = 0.5$$

Una válvula de control se considera como un orificio de diámetro muy variable y por lo tanto cuando un fluido pasa a través de ella tendrá su menor presión y su mayor velocidad en la vena contracta de la válvula que es el lugar inmediatamente después de el orificio teórico que representa la válvula, éste viene siendo el lugar después del regulador de flujo interno en la válvula (vena contracta).

La válvula de control se llama de servicio severo porque la energía potencial de la diferencia de presiones se convierte en energía cinética = velocidad y puede alcanzar velocidades gigantescas en comparación con las velocidades que los fluidos muestran en la tubería. De acuerdo con la estadística la velocidad del agua en la vena contracta de una válvula de control debe ser menor a 22 metros por segundo y la del vapor debe ser menor a una cabeza velocidad equivalente $V_h < 4.5$ Baras, que se tendrá a una velocidad entre 0.5 y 0.7 mach del gas (o vapor) a las condiciones de presión y temperatura de la operación, pero se prefiere la V_h que es igual a $V_h = \text{Densidad} \times \text{velocidad al cuadrado}$ y todo entre $2g$, $g = \text{constante universal}$.

Como ya se ha mencionado si el agua o el vapor (o el líquido o el gas) tienen velocidad muy alta erosionarán los componentes de la válvula de control = internos, cuerpo y las tuberías adyacentes, perdiéndose el control y la hermeticidad al estar cerrada. Los fluidos al pasar por la válvula de control a alta velocidad pueden provocar ciertos fenómenos, el gas provocará niveles altos de sonido > 80 decibeles a un metro de distancia y además vibración, y el líquido provocará cavitación

y evaporación constante sostenida (flashing). La cavitación produce vibración y un ruido característico como de piedras dentro de la válvula y la tubería de salida cercana. El flashing produce ruido mas o menos constante y a veces vibración. Tanto el ruido, la cavitación y el flashing producen destrucción acelerada de la válvula con todas sus consecuencias de descontrol, fugas internas y externas, altos costos de mantenimiento y de operación.

Para evitar el ruido, la vibración, la cavitación y los efectos del flashing, se debe diseñar una válvula que contenga en sus internos un reductor de velocidad del fluido. En el libro de flujo de fluidos en tuberías, válvulas y accesorios de crane se encuentra una de las fórmulas de Darcy que relaciona la velocidad del fluido con el número de accesorios por donde debe de pasar. Utilizando dicha fórmula se calcula el número de accesorios como codos de 90 grados y expansiones de acuerdo con la diferencial de presión de la operación y se le da un factor de seguridad (para que nunca falten accesorios = etapas de paso o vueltas o pasos) para tener la certeza de que se regulará la velocidad a una cifra no destructiva. La válvula de control debe de contener esos accesorios o etapas en sus internos. Desde luego que si se utiliza una válvula sin las etapas requeridas no operará correctamente y pudiera ser que no podría operar por defecto desde el principio, por ejemplo que la alta velocidad flexione los internos y los pegue en cerrado medio abierto o totalmente abierto. Esto es lo que se observa en una instalación con válvulas de control mal diseñadas.

DISEÑO DE UNA VÁLVULA DE CONTROL.

El diseño de una válvula de control lo puede hacer un ingeniero que va a ser el usuario, para lo cual existen libros que mencionan cómo hacerse a mano, y por medio de la computadora, con algún programa de que se disponga. Sabiendo las partes principales de la válvula de control, entonces el diseño consiste en calcular el tamaño del cuerpo, el grueso, el tamaño de los internos y el tamaño del actuador que tenga la suficiente potencia para mover el tapón en las diferentes condiciones de operación y especificaciones.

Para una válvula convencional existen infinidad de folletos de fabricantes que mencionan los tamaños de la válvula de acuerdo con las condiciones de operación, por ejemplo las válvulas de globo o ángulo de uno o dos asientos, de bola, mariposa, jaula, etc. Estas válvulas es posible obtenerlas rápidamente porque se tienen en existencia en un depósito de los fabricantes.

Pero para una válvula de control para aplicación de servicio severo o crítico, debe de recordarse que los internos deben de contener los suficientes accesorios para regular la velocidad del fluido, por lo que el método de cálculo difiere un poco de

la convencional. Hay algunas válvulas de control para servicio severo cuando la caída de presión a través de ellas es menor al 50 % de la presión a la entrada de la válvula que se consideran típicas o numeradas y se tienen también en existencia, estas válvulas pueden tener varias etapas pero debe de cualquier manera verificarse el cálculo del número de etapas para que no se utilice la que no se deba.

La válvula de control con caída de presión más alta del 50% de la presión de entrada, debe de hacerse a la medida, esto significa que tenga el número de etapas suficientes requeridas y nunca menos.

Como ya se dijo, hay programas para hacer estos cálculos y los resultados deben de revisarse cuidadosamente para verificar el número de etapas resultante y dónde estarán dichas etapas.

CÓMO EVALUAR UNA VÁLVULA DE CONTROL NUEVA.

Cuando se va a recibir una planta de fuerza nueva, se hace una lista de verificación de todo lo relativo a la operación, medición y control. En este momento se puede hacer la evaluación de las válvulas de control para ver si fueron bien diseñadas. Esto lo debe de hacer un ingeniero que debe de saber el objetivo de la planta de fuerza, para que de acuerdo con lo que observe emita opiniones que sean en favor de su empresa, aunque esto signifique que dude de la calidad y el comportamiento esperado del equipo. Cuando ya se tiene la planta y se debe de evaluar por qué una válvula de control no funciona correctamente, y se decide que es mejor una substitución, también estas acciones las debe de efectuar un ingeniero que estudie cuidadosamente el caso y se prepare para solicitar el nuevo equipo y recibir las propuestas técnicas de los fabricantes. Se recomienda para ello leer el libro Control Valves, Practical Guides for Measurement and Control de Borden y Friedmann, edición 1998 de la ISA. En una parte de este trabajo se menciona cómo solicitar una válvula de control dando las condiciones de operación y las especificaciones lo mas precisas posibles.

Con lo que se ha dicho de cómo se diseña una válvula de control para servicio severo o crítico, el ingeniero evaluador de válvulas primero debe hacerse las preguntas siguientes:

la nueva válvula de control que me proponen es un prototipo ?

Si la respuesta de la propuesta es no, entonces debe de hacerse la pregunta siguiente: dónde están instaladas en México en aplicación similar ? El fabricante debe de dar una lista de los lugares y la aplicación, así el ingeniero puede verificar con la compañía el funcionamiento de la válvula.

La pregunta que sigue para la evaluación será: qué método de

diseño se utilizó para calcular la válvula de control ?

En México, la respuesta debe ser ; de acuerdo con ISA (Sociedad de Instrumentistas de América). En Seguida se revisa el tamaño de los internos, el cuerpo y el actuador.

Luego se pregunta: cuántas etapas tienen los internos de la válvula de control ?

Debe haber una respuesta que será un número, por ejemplo: 12.

Lo que sigue es preguntar : dónde están las etapas en la válvula propuesta ?

La respuesta debe ser un plano o una muestra del equipo: ver dibujo de referencia.

La pregunta siguiente será: cuál es la velocidad del fluido (agua / líquido, vapor / gas) En la vena contracta de la válvula ? Y la respuesta debe ser una cifra menor ó igual a la que el ingeniero o la compañía usuaria especificó por ejemplo:

< 20 metros por segundo (para el caso de agua / líquido) ó Vh < 4.5 BARS (para vapor / gas), a veces se especifica la velocidad como mach, pero se debe tener cuidado de la densidad del vapor a las condiciones de P, T y grado de sobrecalentamiento.

Otra pregunta que se debe de hacer es el tamaño y potencia del actuador para que cumpla con las condiciones de operación y la especificación de hermeticidad. La respuesta debe ser un tamaño por ejemplo: 113 pulgadas.

Lo mas importante que debe de dar el fabricante para que el ingeniero usuario haga su evaluación son las memorias de cálculo, las cuales deben ser muy explícitas, pues son la esencia del cálculo/diseño de la válvula de control, por ejemplo: cálculo del Cv; del número de etapas y la velocidad resultante de acuerdo con el número de etapas de acuerdo con la ecuación de darcy y el tamaño del actuador para ver si la potencia es suficiente para cumplir con la especificación de hermeticidad de acuerdo con la ISA, ésto es los kilogramos fuerza por centímetro lineal de la circunferencia del asiento en el cuerpo de válvula . Además se debe de ver si la válvula cumple con la especificación de mantenimiento rápido, ésto es que ninguna parte sea roscada o soldada, ver la dirección del flujo, ya que cuando se trate de líquido debe ser por arriba del tapón para que los sólidos no dañen los asientos y que la válvula debe de tener el anillo igualador de presión alrededor del tapón para evitar vibración por flujo concentrado en un solo punto.

Desde luego que cuando un fabricante deja de cumplir alguna de las especificaciones se debe de descalificar por incumplimiento, de acuerdo a lo especificado, pues de otra manera de nada sirve el procedimiento legal de evaluación de ofertas / propuestas. A veces cuando el ingeniero o la compañía usuaria se preocupan por los precios del equipo, desvirtúan la evaluación técnica, pero si analizan los precios de dos o mas

válvulas de control diferentes para la misma aplicación, verán que la diferencia de precios puede ser alrededor de 30 %, siendo la mas cara la que cumple 100% las condiciones de operación y todas las especificaciones y que además tiene estadística de funcionamiento correcto en las plantas de fuerza en México y por lo tanto es la mas confiable, incluso sea diferente en peso a las otras. La manera mas sencilla de evaluar rápidamente dos válvulas es ver el número de etapas que contienen y si efectivamente las contienen por medio de un dibujo explicativo, y si existen en alguna planta en la misma aplicación funcionando correctamente.

Nunca debe de olvidarse que una válvula de control mal diseñada puede ser muy barata (costo directo de compra), pero su operación resultará muy cara (costo indirecto de mantenimiento y operativo), por ejemplo una válvula de flujo mínimo de agua de alimentación al desgasificador , si no es totalmente hermética (clase MSS-SP61) cuando esté cerrada, la fuga interna de agua tratada caliente que va al desgasificador significa megawatts menos que vender porque la bomba de agua de alimentación debe de invertir mas energía para sostener la carga / capacidad de la planta + la fuga interna por falta de hermeticidad, suponiendo que la fuga fuera el 1 % de la capacidad total de la planta en una unidad de 350 MWs, entonces se perderían constantemente 3.5 MWs, con lo que con ese costo operativo en muy poco tiempo se podrían comprar las válvulas realmente requeridas por la aplicación y ahorrar muchos recursos económicos. La diferencia en los costos de producción de un país a otro es el arte de saber ahorrar en este tipo de ejemplos.

La evaluación técnica se hace primero, se detectó que la válvula 2 no tiene lista de válvulas instaladas en México, por lo que no hay manera de evaluar calidad comparada. A la válvula 2 le faltó cumplir una memoria de cálculo. El número de etapas en válvula 2 es menor. Las etapas deben mostrarse en un dibujo o prácticamente. La hermeticidad y el tapón no balanceado / balanceado se logra con asiento presurizado y se debe de ver en un dibujo. Los costos son la segunda evaluación para ver el costo beneficio. En conclusión la válvula 2 cuesta 66 % de lo que cuesta la uno, pero no cumple, por lo tanto se descalifica desde el principio, antes de abrir el paquete de precios.

CUADRO COMPARATIVO PARA EVALUAR DOS VÁLVULAS DE CONTROL DIFERENTES.

Condiciones de operación y Especificaciones	Válvula 1	Válvula 2	COMENTARIOS
Flujo Mínimo de agua de Alimentación	SI	SI	APLICACIÓN
Presión de Entrada	160 BARS	160 BARS	
Presión de Salida	10 BARS	10 BARS	
Temperatura	140 o C	140 o C	
Gasto (flujo)	270 TONM/HORA	270 TONM/HORA	
Cuerpo: Tamaño	4 PULGADAS – 2500#	4 PULGADAS – 2500#	
Internos: Tamaño	3 PULGADAS	3 PULGADAS	
Actuador: Tipo Pistón. Tamaño	200 PULGADAS	200 PULGADAS	CÁLCULO
Tapón: No Balanceado / Balanceado.	NO BALANCEADO / BALANCEADO	NO BALANCEADO / BALANCEADO	DIBUJO
HERMETICIDAD	MSS – SP61	MSS – SP61	CÁLCULO
Mantenimiento Rápido	SI	SI	NO ROSCADO / NO SOLDADO
Anillo Igualador de Presión.	SI	SI	DIBUJO
Número de Etapas	22	18	MOSTRAR
Velocidad del agua en la vena contracta	20 metros por segundo	20 metros por segundo	CÁLCULO
No Prototipo	Lista de válvulas en México en similar aplicación.	NO LISTA	Puede ser la primera vez en esta aplicación
ISO - 9001	ISO - 9001	ISO – 9001	ACTUALIZADO
Certificado LAPEM	SI LAPEM	SI LAPEM	ACTUALIZADO
Memorias de cálculo explícitas: Cv, Actuador, Número de etapas, Velocidad del agua en la vena contracta.	TODAS	FALTA UNA	CÁLCULOS DE ACUERDO CON ISA
PRECIO	30 UNIDADES	20 UNIDADES	COSTO DIRECTO
COSTO MANTENIMIENTO	2 CADA 2 AÑOS	5 CADA AÑO	COSTO INDIRECTO DE MANTENIMIENTO FRECUENTE
COSTO OPERATIVO	1 POR AÑO	20 POR AÑO	FUGAS INTERNAS = RECIRCULACIÓN
DIBUJO	SI	SI	QUE MUESTRE # DE ETAPAS.
PESO	100	70	POR QUÉ ?

REFERENCIAS

Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. Crane.
ISBN 968 451 846 3. Capítulos 1 Al 4 + Apéndices A y B.

Control Valves Practical Guides for Measurement and Control.
Guy Borden, Jr. Editor and Paul G. Friedmann, Style Editor.
Páginas: 412 a la 422; 486 y 487, 274 y 275, 112 y 161, 107,
363 a la 370, 394 A 398, 26, 460, 322, 401 a 403, 327 a
331, 23 A 268, 238, 235, 236, 434, 435, 437 y 438.
Ediciones ISA, 1998. 67 Alexander Drive. Research Triangle
Park NC 27709.

Literatura CCI.

*Válvulas para servicio severo 100D para flujo mínimo de agua
de alimentación, by pass de turbina para plantas termoeléctricas
de vapor, ciclo combinado y nucleares.*