

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



Trabajo de graduación

**SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS
REGULADORAS DE TEMPERATURA PARA LA
INDUSTRIA DE ALFOMBRAS "LOS ESTANQUES S.A."**

**BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Jorge Roberto Wohlers Taracena
Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero Mecánico
Guatemala
2005



**SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS
REGULADORAS DE TEMPERATURA PARA LA
INDUSTRIA DE ALFOMBRAS “LOS ESTANQUES S.A.”**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



Trabajo de graduación

**SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS
REGULADORAS DE TEMPERATURA PARA LA
INDUSTRIA DE ALFOMBRAS “LOS ESTANQUES S.A.”**

**BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Jorge Roberto Wohlers Taracena
Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero Mecánico
Guatemala
2005

Vo.Bo. :

(f) Manuel Ruano
Ing. Manuel Ruano

Tribunal:

(f) Manuel Ruano
Ing. Manuel Ruano

(f) José Joaquín Garoz
Ing. José Joaquín Garoz

(f) Carlos Poitevin
Ing. Carlos Poitevin

Fecha de aprobación: 12 de octubre de 2005

RESUMEN

El trabajo consiste en documentar el proceso que se llevó a cabo para seleccionar y dimensionar válvulas reguladoras de temperatura para la industria de alfombras "Los Estanques S.A.". Este último contará con todos los datos recopilados en la planta, necesarios para la selección y el dimensionamiento correcto de las válvulas según las condiciones de operación de la red de vapor así como las condiciones y necesidades expuestas por el cliente. Al final se hace un análisis de la selección final de las válvulas.

INDICE

| | Página |
|---|--------|
| RESUMEN | iv |
| LISTA DE CUADROS Y TABLAS | vii |
| LISTA DE GRÁFICAS Y FIGURAS | ix |
| Capítulos | |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. GENERALIDADES SOBRE VÁLVULAS Y REDES DE VAPOR..... | 3 |
| A. Definición de la válvula..... | 3 |
| B. Clasificación de válvulas según su función..... | 3 |
| 1. Válvulas para detener o permitir el paso del caudal o flujo..... | 3 |
| 2. Válvulas para controlar o regular el caudal o flujo..... | 4 |
| 3. Válvulas para divergir el caudal o flujo | 4 |
| 4. Válvulas para fluidos con sólidos en suspensión..... | 4 |
| a. Válvulas tipo “ON-OFF”..... | 4 |
| b. Válvulas tipo “No Retorno”..... | 4 |
| c. Válvulas Estranguladoras..... | 5 |
| C. Clasificación de acuerdo a su aplicación..... | 5 |
| 1. Válvulas de servicio general..... | 5 |
| 2. Válvulas de servicio especial..... | 5 |
| 3. Válvulas de servicio severo..... | 6 |
| D. Agrupamiento de válvulas por método de regulación de flujo..... | 6 |
| 1. Cerrando hacia abajo..... | 6 |
| 2. Válvulas deslizantes..... | 6 |
| 3. Válvulas rotativas..... | 6 |
| E. Clasificación WOG y WSP..... | 6 |
| F. Tipos de válvulas más comunes..... | 7 |

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Válvula de compuerta..... | 7 |
| 2. | Válvula de mariposa..... | 8 |
| 3. | Válvulas tipo globo..... | 10 |
| 4. | Válvulas tipo bola..... | 11 |
| G. | Tipos de conexiones de válvulas..... | 13 |
| 1. | Roscadas..... | 13 |
| 2. | Tipo Flange o Bridas..... | 13 |
| 3. | Conexión por soldadura..... | 14 |
| H. | Selección del empaque..... | 14 |
| I. | Selección del cuerpo de la válvula..... | 15 |
| J. | Criterio para selección de válvulas..... | 16 |
| K. | Válvulas de control..... | 18 |
| 1. | Válvulas de control tipo globo..... | 21 |
| 2. | Definición de los actuadores o sistemas de actuación..... | 23 |
| L. | Dimensionamiento del cuerpo de válvulas de control para servicio gaseoso..... | 24 |
| M. | Oportunidades de conservación de energía en sistemas de vapor..... | 29 |
| N. | Trampas de vapor..... | 30 |
| III. | DESCRIPCIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE..... | 34 |
| IV. | RECOLECCIÓN DE DATOS Y VARIABLES DEL SISTEMA..... | 36 |
| V. | SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS REGULADORAS DE TEMPERATURA..... | 38 |
| A. | Cálculo del flujo másico del vapor..... | 38 |
| B. | Primer método: Cálculo del Cv usando la ecuación de Skousen..... | 40 |
| C. | Segundo método: Usando tablas de capacidad del proveedor..... | 45 |
| D. | Tercer método: Calculando el Cv usando la ecuación de ITT Hoffman..... | 51 |
| VI. | REALIZACIÓN DE LAS COTIZACIONES PRESENTADAS AL CLIENTE..... | 53 |

| | | |
|-------|---|----|
| VII. | ANÁLISIS Y SELECCIÓN FINAL DE LAS VÁLVULAS REGULADORAS DE TEMPERATURA..... | 57 |
| VIII. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 62 |
| IX. | BIBLIOGRAFÍA..... | 63 |
| X. | APÉNDICES..... | 64 |

LISTA DE CUADROS Y TABLAS

| Cuadro | Página |
|---|--------|
| 1. Selección correcta de válvulas..... | 17 |
| 2. Factores Xt típicos..... | 26 |
| 3. Tipos de trampas de vapor | 33 |
| 4. Dimensión de los baños de teñido en pulgadas..... | 36 |
| 5. Datos para seleccionar el modelo o Body Code de la válvula dependiendo de las condiciones del sistema..... | 41 |
| 6. Condiciones del sistema..... | 41 |
| 7. Valores de Cv..... | 44 |
| 8. Capacidades de válvulas Body Code 01 | 46 |
| 9. Capacidades de válvulas Body Code 02..... | 46 |
| 10. Capacidades de válvulas Body Code 03..... | 48 |
| 11. Capacidades de válvulas Body Code 05..... | 49 |
| 12. Precios de lista modelo 2" 05..... | 52 |
| 13. Cálculo de la cotización del modelo 2" 05..... | 52 |
| 14. Precios de lista modelo ½" 03 | 53 |
| 15. Cálculo de la cotización del modelo ½" 03..... | 53 |
| Tabla | |
| 1. Especificaciones típicas para empaques | 14 |
| 2. Ratings de presión según el tipo de válvula | 16 |
| 3. Límites de temperatura para el cuerpo de la válvula | 16 |
| 4. Datos físicos para gases de servicio comunes | 27 |
| 5. Cantidad de agua en galones por baño | 39 |
| 6. Flujo másico requerido | 40 |
| 7. Cv para resto de teñidoras | 44 |
| 8. Tamaño de válvula según Cv | 45 |
| 9. Tamaño de válvulas según segundo método | 50 |

| | |
|---|----|
| 10. Comparación de los 2 métodos | 50 |
| 11. Resultados de Cv según el tercer método | 51 |
| 12. Tamaño de válvulas según tercer método | 52 |
| 13. Comparación de los tres métodos | 52 |

LISTA DE GRÁFICAS Y FIGURAS

Gráfica

1. Uso de válvulas de acuerdo a su clasificación 7
2. Gráfica para encontrar el factor de compresibilidad Z 28
3. Gráfica para encontrar el factor de compresibilidad Z 29

Figura

1. Válvula de compuerta 7
2. Válvula de mariposa 8
3. Válvula tipo globo 11
4. Lazo de control cerrado 19
5. Trampa mecánica convencional 32
6. Trampa de termodisco 32

I. INTRODUCCIÓN

Las válvulas son dispositivos que se utilizan para poder controlar la dirección y flujo de un fluido desde tiempos que remontan a los egipcios. Los seres humanos tenemos válvulas dentro del cuerpo, por ejemplo en el corazón tenemos válvulas que controlan el flujo de la sangre que entra y sale del corazón. El uso de estos dispositivos es imprescindible en cualquier tipo de industria hoy en día.

El trabajo trata sobre el proceso de selección y dimensionamiento de válvulas reguladoras de temperatura que se llevó a cabo para poder cumplir con las necesidades del área de teñido de telas en la fábrica de alfombras “Los Estanques SA”. La primera selección, dimensionamiento y cotización de las válvulas se hizo mientras su servidor trabajaba en la empresa “Servicios Industriales y Agrícolas S.A., SIDASA”. Para este trabajo se volvieron a seleccionar y dimensionar las válvulas utilizando tres distintos métodos y se comprobó que se habían seleccionado correctamente la primera vez.

El trabajo se delimita a seleccionar y dimensionar las válvulas para un proveedor de este tipo de válvulas ya que este proveedor fue el único autorizado por Sidasa para proveer las válvulas, aunque el procedimiento seguido es válido para dimensionar cualquier válvula. Este proveedor es la marca de accesorios para redes de vapor ITT Hoffman Specialty.

El proceso inicia con la descripción de las necesidades del cliente para su red de vapor, específicamente con las necesidades en el área de teñido de las alfombras. Luego de tener claro cuáles son las necesidades del cliente, se procede a hacer una visita a la planta para tener una visión general de la situación y poder recolectar los datos necesarios para el dimensionamiento y selección de las válvulas reguladoras de temperatura. Luego de tener los datos, se procede a interpretarlos y a realizar el análisis de las variables en el sistema y a tratar de juntarlas a todas para poder incluirlas en el análisis del dimensionamiento y la selección para tener mejores resultados y la selección sea lo más cercana posible a las exigencias del cliente y a las condiciones del sistema de la red de vapor.

Para poder llevar a cabo la correcta selección y dimensionamiento de las válvulas se procede a buscar bibliografía y páginas en Internet que provean de valiosa información en el ámbito de redes de vapor, desde cómo poder tener ahorro en estos sistemas hasta cual debe ser el criterio para la selección correcta del accesorio para la red de vapor. Además se hace uso de catálogos y guías provenientes de los proveedores de estos accesorios que ayudan a dimensionar las válvulas según cada proveedor.

Se considera haber satisfecho con las necesidades del cliente ya que ahora se tiene un mejor control de la temperatura del agua y no es necesario tener un operario en el lugar para estar controlando la temperatura constantemente.

II. GENERALIDADES SOBRE VÁLVULAS Y REDES DE VAPOR

A. Definición de la válvula

Por definición las válvulas son aparatos mecánicos especialmente diseñados para direccionar, detener, empezar, mezclar, regular el flujo, la presión o la temperatura de un fluido en algún tipo de proceso. Estas pueden estar diseñadas para manejar gases o líquidos. (Skousen, 1998, 1)

El espectro de válvulas disponibles ahora en el mercado se extiende desde simples válvulas de paso para agua hasta válvulas equipadas con microprocesadores que proveen un sistema de lazo cerrado para procesos controlados. Las válvulas más comunes en estos días son las de compuerta, bola, mariposa, cheque, alivio y de globo. (Skousen, 1998, 1)

Las válvulas pueden ser manufacturadas de distintos materiales siendo los más comunes el acero, hierro, plástico, bronce, cobre y aleaciones especiales. (Skousen, 1998, 1)

B. Clasificación de válvulas según su función

La manera en la cual la válvula regula el flujo es tomado en cuenta a la hora de seleccionar las válvulas dependiendo de la aplicación y las necesidades del flujo a ser regulado. (Zappe, 1999,47)

1. Válvulas para detener o permitir el paso del caudal o flujo. Este tipo de válvulas se seleccionan normalmente para una resistencia leve al flujo y un pasaje directo. Este tipo de válvulas son del tipo válvulas deslizantes y rotativas. Las válvulas tipo “cerrando hacia abajo” no entran en esta categoría ya que ofrecen una gran resistencia al flujo, sin embargo si la gran resistencia al flujo no es crítica se pueden usar. (Zappe, 1999,47)

2. Válvulas para controlar o regular el caudal o flujo. Este tipo de válvulas se seleccionan normalmente para poder regular el caudal fácilmente. Las válvulas tipo “cerrando hacia abajo” se aplican en estos casos debido a la relación directamente proporcional entre el tamaño del asiento y la carrera del miembro sellador. (Zappe, 1999,47)

3. Válvulas para divergir el caudal o flujo. Este tipo de válvulas tienen normalmente tres o más puertos, dependiendo de la función de divergir el flujo. Las válvulas tipo bola se adaptan fácilmente a esta función. (Zappe, 1999,47)

4. Válvulas para fluidos con sólidos en suspensión. Si el fluido lleva sólidos en suspensión las válvulas que mejor se adaptan a esta condición son válvulas que se deslicen a través del asiento con una función de limpiarlo. (Zappe, 1999,47)

Otra clasificación según su función basándonos en otro autor es que éstas pueden ser categorizadas en tres áreas: válvulas tipo “ON-OFF”, que tienen la función de detener o dejar pasar el paso del fluido; válvulas tipo de “No Retorno”, que permiten el paso del fluido en una única dirección y válvulas estranguladoras, que permiten la regulación del flujo del fluido en cualquier punto entre completamente abiertas o cerradas. A veces existe cierta confusión con el hecho que algunas válvulas podrían caer en varias de las clasificaciones y no sólo en una. (Skousen, 1998, 7)

a. Válvulas tipo “ON-OFF”. A veces se refiere a estas válvulas como válvulas de bloqueo ya que están diseñadas para empezar o detener el flujo del fluido. Las válvulas de este tipo más comunes son: compuerta, bola, de alivio de presión. La mayoría de estas válvulas se operan manualmente aunque pueden ser automatizadas con la adición de un actuador. (Skousen, 1998, 7)

b. Válvulas tipo “No Retorno”. Las válvulas tipo “No Retorno” permiten el paso del fluido sólo en la dirección deseada. El diseño de la válvula es tal que cualquier flujo o presión en la dirección opuesta es mecánicamente restringido. Todas las válvulas de cheque son de este tipo. (Skousen, 1998, 7)

c. Válvulas Éstranguladoras. Las válvulas estranguladoras se usan para regular el flujo, temperatura o presión de servicio. Estas válvulas tienen la capacidad de moverse a cualquier posición dentro de la carrera de la válvula. De esta forma también pueden actuar como válvulas tipo "ON-OFF". Aunque muchas de estas válvulas vienen equipadas con una llave para controlar la carrera, muchas vienen con un actuador incorporado que proveen de mayor precisión y control automático. (Skousen, 1998, 10)

Las reguladoras de presión son válvulas de este tipo así como las válvulas reguladoras de temperatura. Las válvulas de control automático pertenecen a esta familia de válvulas y son llamadas a veces simplemente como válvulas de control. (Skousen, 1998, 11)

C. Clasificación de acuerdo a la aplicación

Aunque las válvulas a veces son clasificadas según su función también se les clasifica de acuerdo a su aplicación. Tres clasificaciones son usadas: Válvulas de servicio general, que describe un diseño de válvula versátil que puede ser usado en numerosas aplicaciones sin tener que sufrir modificaciones; válvulas de servicio especial, que son especialmente diseñadas para una aplicación en específico; y válvulas de servicio severo, que son diseñadas para aplicaciones difíciles. (Skousen, 1998, 13)

1. Válvulas de servicio general. Son aquellas que están diseñadas para la mayoría de aplicaciones que tienen rangos bajos de presión 150-600 psi, temperatura -50° a 650°F (-46°F a 343°C), fluidos no corrosivos. Los cuerpos de las válvulas están hechos normalmente de hierro al carbono o acero. (Skousen, 1998, 13)

2. Válvulas de servicio especial. Este tipo de válvulas es diseñado para una aplicación específica que queda fuera de procesos normales. Debido a su diseño único e ingeniería sólo funcionarán dentro de los parámetros y condiciones de servicio para los cuales fueron diseñadas. Además estarán sometidas a temperaturas demandantes, altas presiones y medios corrosivos. (Skousen, 1998, 13)

3. Válvulas de servicio severo. Son válvulas de servicio especial pero diseñadas para soportar las condiciones más demandantes que puedan haber. (Skousen, 1998, 13)

D. Agrupamiento de válvulas por método de regulación de flujo

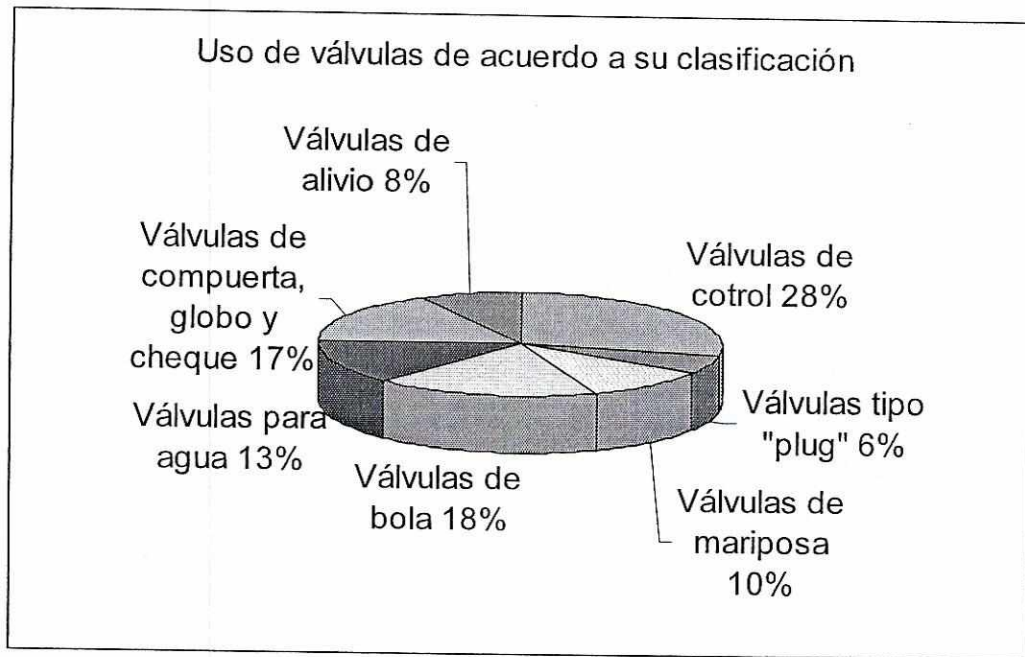
Las válvulas se pueden agrupar o clasificar por el método por el cual el miembro que sella se mueve hacia el asiento.

1. “Cerrando hacia abajo”, el miembro que sella se mueve en dirección del eje del asiento.
2. Válvulas deslizantes, el miembro sellador se mueve como una compuerta a través del flujo
3. Válvulas rotativas, un miembro sellador tipo disco es rotado. (Zappe, 1999,45)

E. Clasificación WOG y WSP

Este tipo de clasificación define la relación presión-temperatura a la cual la válvula puede ser operada. Para la válvulas de uso general se usan las siglas WOG por sus siglas en ingles Water, Oil, Gas) (Agua, Aceite, Gas) y las siglas WSP (Wet Steam Pressure) (Presión de vapor mojado) se usan cuando se transporta agua, aceite, gas o vapor mojado. Para la clasificación WOG se esta refiriendo a la temperatura ambiental mientras que la clasificación WSP se refieren a la temperatura mayor a la cual estará expuesta la válvula. (Zappe, 1999,49)

Gráfica No. 1



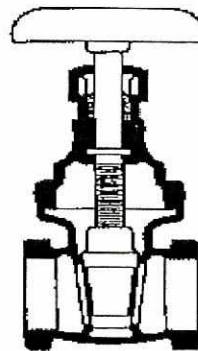
(Skousen, 1998, 6)

F. Tipos de válvulas más comunes

1. Válvula de compuerta:

Figura No.1

Válvula de compuerta

*Gate Valve*

(Internet 3)

Recomendada para:

- Servicio con apertura total o cierre total, sin estrangulación.
- Para uso poco frecuente.
- Para resistencia mínima a la circulación.
- Para mínimas cantidades de fluido o líquido atrapado en la tubería.

Aplicaciones:

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

Ventajas:

- Alta capacidad.
- Cierre hermético.
- Bajo costo.
- Diseño y funcionamiento sencillos.
- Poca resistencia a la circulación.

Desventajas:

- Control deficiente de la circulación.
- Se requiere mucha fuerza para accionarla.
- Debe estar abierta o cerrada por completo.
- La posición para estrangulación producirá erosión del asiento y del disco.
(Internet 4)

2. Válvula de mariposa:

Figura No.2

Válvula de mariposa



(Internet 3)

La válvula de mariposa es de $\frac{1}{4}$ de vuelta y controla la circulación por medio de un disco circular, con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación

Recomendada para:

- Servicio con apertura total o cierre total.
- Servicio con estrangulación.
- Para accionamiento frecuente.
- Cuando se requiere corte positivo para gases o líquidos.
- Cuando sólo se permite un mínimo de fluido atrapado en la tubería.
- Para baja caída de presión a través de la válvula.

Aplicaciones:

Servicio general, líquidos, gases, pastas semilíquidas, líquidos con sólidos en suspensión.

Ventajas:

- Ligera de peso, compacta, bajo costo.
- Requiere poco mantenimiento.
- Numero mínimo de piezas móviles.
- No tiene bolas o cavidades.
- Alta capacidad.
- Circulación en línea recta.
- Se limpia por si sola.

Desventajas

- Alta torsión (par) para accionarla.
- Capacidad limitada para caída de presión.
- Propensa a la cavitación. (Internet 4)

3. Válvulas tipo Globo

Las válvulas tipo globo son del tipo “cerrando hacia abajo” en las cuales el miembro sellador se mueve hacia arriba y hacia abajo sobre el asiento. Es costumbre llamar al miembro sellador como el disco sin importar la forma. Debido a este movimiento del disco, la abertura del asiento varía proporcionalmente al viaje del disco. Esta relación proporcional entre el movimiento del disco y abertura de la válvula es perfecto para trabajos que involucran regular el flujo. Adicionalmente la carga del asiento de las válvulas tipo globo puede ser ajustado mediante un tornillo en la parte superior de la válvula, por lo cual la capacidad de sello de este tipo de válvulas es potencialmente alto. (Zappe, 1999,51).

Este tipo de válvulas pueden usarse también para tipo on-off. Algo importante y muy bueno de las válvulas tipo globo es que si se necesita cambiar la regulación del flujo, abriendo o cerrando un poco la válvula, estas válvulas son excelentes debido a la corta carrera que deben hacer para lograr hacerlo, además de tener pocas piezas. Estas ventajas han hecho que se desarrollen muchos tipos de válvulas de globo para diferentes aplicaciones. (Zappe, 1999,52).

Asientos para válvulas tipo globo:

Las válvulas tipo globo pueden tener asientos metálicos o suaves. En el caso de asientos metálicos, la carga de sellado sobre el asiento debe ser alta y además perfectamente distribuida circunferencialmente para lograr un alto grado de sello. Estos requerimientos han conducido a desarrollar varios tipos de diseños de asientos. (Zappe, 1999, 57)

Recomendada para:

- Estrangulación o regulación de circulación.
- Para accionamiento frecuente.
- Para corte positivo de gases o aire.
- Cuando es aceptable cierta resistencia a la circulación.

Aplicaciones:

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

Ventajas:

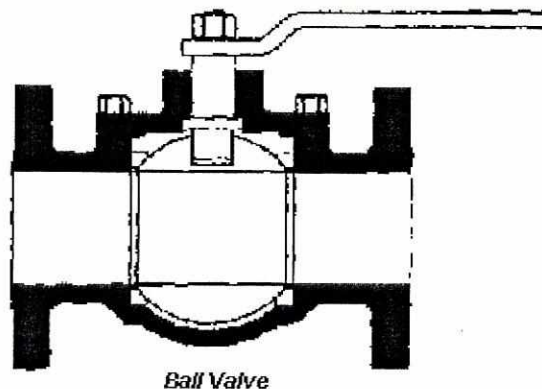
- Estrangulación eficiente con estiramiento o erosión mínimos del disco o asiento.
- Carrera corta del disco y pocas vueltas para accionarlas, lo cual reduce el tiempo desgaste en el vástago y el bonete.
- Control preciso de la circulación.
- Disponible con orificios múltiples.

Desventajas:

- Gran caída de presión.
- Costo relativo elevado (Internet 4)

4. Válvulas tipo bola:

Figura No.3
Válvula tipo globo



(Internet 3)

Las válvulas tipo bola tienen una cerradura en forma de esfera. El asiento también es de forma circular así que el esfuerzo que sufre para sellar esta perfectamente distribuido. La mayoría de válvulas de bola tienen asientos suaves, para que se acomoden fácilmente a la bola o esfera. Desde el punto de vista el

sello, las válvulas de bola son excelentes. Sin embargo, si la válvula se deja semiabierta por un periodo muy largo en condiciones de gran caída de presión, el asiento suave tiende a fluir a través del orificio de la válvula y posiblemente deje trabada a la válvula en esa posición. Las válvulas tipo bola son para accionar manualmente son aconsejadas por esa razón para ser usadas en modalidad de detener o permitir el flujo, totalmente abiertas o totalmente cerradas, on-off. (Zappe, 1999, 101).

Debido a la forma de moverse la bola a través del asiento, este tipo de válvulas son perfectas para tratar fluidos con sólidos en suspensión; sin embargo, si el sólido es abrasivo éste puede dañar los asientos. Material con fibras largas podría ser un problema también ya que la fibra puede enrollarse en la bola. (Zappe, 1999, 101)

Asientos para válvulas tipo bola:

El material más importante usado para los asientos de válvulas tipo bola es el PTFE (Polytetrafluoroetileno) o teflón. El teflón es inerte a casi todos los químicos, además posee un coeficiente de fricción de los más bajos que se conocen, soporta un rango amplio de temperaturas y propiedades de sellado excelentes. Sin embargo, el PTFE sufre de un alto coeficiente de expansión y un bajo coeficiente de transferencia de calor. También se utilizan elastómeros, como el buna-N. (Zappe, 1999, 101)

Algunas de las aplicaciones:

Tarea:

Empezar y detener el flujo

Regular moderadamente

Divergir fluidos

Servicio:

Gases

Líquidos

Vacío

Criogénicos

(Zappe, 1999, 112)

G. Tipo de conexiones de válvulas

1. Roscadas. En este caso la válvula lleva una rosca hembra que se conecta a la parte macho de la tubería. Este tipo de conexiones sufren de goteo por lo cual hay que colocar un sellante para evitar el goteo. Si el material con el cual está hecho la válvula es soldable, se puede soldar la conexión para evitar el goteo. (Zappe, 1999,47)

Debido al goteo y a las limitaciones por presión de las uniones roscadas, solamente están clasificadas hasta ANSI Clase 600. Además, las conexiones de rosca no deben ser usadas en procesos corrosivos ya que la rosca puede fallar o puede volverse inseparable. La ventaja de este tipo de conexión es que cuando son pequeñas son fáciles de instalar ya que la válvula es pequeña y tiene poco peso. Esto es importante ya que la tubería y la válvula deben ser rotadas para lograr hacer la conexión. (Skousen, 1998, 40)

2. Tipo Flange o Bridas. Este tipo de conexión permite una fácil instalación de la válvula y desinstalación de la misma. Sin embargo las válvulas con este tipo de conexión son más grandes y por lo tanto más pesadas. Debido a que este tipo de conexión se hace con tornillos, arriba de temperaturas de 350°C pueden afectar el sellado debido a la expansión térmica y sufrir goteo. (Zappe, 1999,47)

Según otro autor las conexiones tipo o flange son más fáciles de instalar que las conexiones tipo rosca ya que la cara de la válvula es colocada contra la tubería y estas son conectadas por medio de tornillos sin tener que rotar la tubería ni la válvula. Las bridas pueden ser usadas en un gran rango de temperaturas, desde el cero absoluto hasta los 1500°F (815°C). A pesar que la mayor ventaja de las conexiones de tipo brida es su fácil instalación las bridas están sujetas a distorsión térmica y shock. Si los ciclos de temperatura varían significativamente una conexión soldada debe ser la elección. (Skousen, 1998, 41)

3. Conexión por soldadura. Este tipo de conexión se adapta a cualquier presión y temperatura y son más confiables a altas temperaturas que el otro tipo de conexiones. Sin embargo, la instalación y desinstalación es más complicado que el otro tipo de conexiones. (Zappe, 1999,47)

H. Selección del empaque

El empaque es un material maleable que puede ser suave o duro que esta insertado en medio de dos piezas diseñado para prevenir el goteo en la junta. Por regla general, los empaques deben ser de un material más suave que el material de las partes para prevenir el daño. (Skousen, 1998, 60)

Los empaques son usados en las válvulas por tres propósitos principales: Primero, para prevenir el goteo alrededor del miembro que cierra hacia la parte aguas abajo del proceso; segundo para prevenir el goteo del fluido hacia la atmósfera y tercero los empaques se utilizan para permitir el funcionamiento de mecanismos internos que dependen de cámaras de fluidos separadas. (Skousen, 1998, 60)

Tabla No.1
Especificaciones típicas para empaques

| Tipo | Material | Máxima temperatura (°F/°C) | Mínima temperatura (°F/°C) | Máxima presión (psi) |
|---------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Plano | PTFE virgen | 350/175 | -200/-130 | 6000-1000 |
| Plano | PTFE reforzado | 450/230 | -200/-130 | 6000-500 |
| Plano | CTFE | 200/95 | -423/-250 | 6000-500 |
| Plano | FEP | 400/205 | -423/-250 | 6000-500 |
| Espiral | ELA | 1500/815 | -20/-30 | 6250 |
| Espiral | 304 SS/Asbesto | 750/400 | -20/-30 | 6250 |
| Espiral | 316 SS/Asbesto | 100/540 | -20/-30 | 6250 |
| Espiral | 316 SS/Asbesto | 350/176 | -20/-30 | 6000-500 |
| O-ring | Inconel X-750 | 1500/815 | -20/-30 | 15,000 |

(Skousen, 1998, 60)

I. Selección del cuerpo de la válvula

Muchas válvulas para uso de servicio general están hechas de materiales como hierro o aceros inoxidable. En la mayoría de los casos el material requerido para la válvula es el mismo que el de la tubería que generalmente es acero al carbón, acero inoxidable o acero al cromo-molibdeno. (Skousen, 1998, 50)

Acero al carbón es probablemente el material más especificado para las válvulas. En general, es el material ideal para fluidos no corrosivos. El acero al carbón es también ampliamente usado para servicios con vapor o condensado. Funcionan excepcionalmente bien hasta altas temperaturas de 800°F (425°C) en servicio continuo, o hasta 1000°F (535°C) para servicio no continuo. A parte de sus buenas propiedades es un material bastante económico al compararlo con otros metales ampliamente usados. (Skousen, 1998, 50)

El acero inoxidable es un material muy resistente a la corrosión, extremadamente fuerte, y especificado para altas temperaturas 1000°F (535°C) y más altas. Su costo es mayor que el acero al carbón, pero menor que otros aceros aleados. (Skousen, 1998, 51)

Acero al cromo-molibdeno es un material que queda en medio de las características de acero al carbón y acero inoxidable. Puede manejar presiones y temperaturas mayores que el acero al carbón, haciendo de este material excelente para servicios de vapor a altas presiones y condensado. Lo negativo es que no es tan resistente a la corrosión como el acero inoxidable. (Skousen, 1998, 51).

Las aleaciones especiales están especificadas para válvulas de servicio especial o severo.

Tabla No.2
Ratings de presión según el tipo de válvula

| Tipo de válvula | Ratings de presión (psi) |
|------------------|---------------------------------------|
| Globo | 150, 300, 600 |
| Globo con bridas | 125, 150, 250, 300 y 600 |
| Globo sin bridas | 150, 300, 600 |
| Globo soldada | 150, 300, 600, 900, 1500, 2500 y 4500 |
| Compuerta hierro | Todos los ratings |
| En acero inox | Todos los ratings |
| Mariposa | Todos los ratings |
| Diafragma | Todos los ratings |

(Skousen, 1998, 51)

Tabla No.3
Límites de temperatura para el cuerpo de la válvula

| Material | Límite superior | | Límite inferior | |
|--------------------------|-----------------|------|-----------------|------|
| | (°F) | (°C) | (°F) | (°C) |
| Hierro fundido | 410 | 210 | -20 | -5 |
| Hierro dúctil | 650 | 345 | -20 | -5 |
| Acero al carbón WCB | 1000 | 535 | -20 | -5 |
| Acero al carbón LCB | 650 | 345 | -50 | -10 |
| Acero al cromo-molibdeno | 850 | 455 | -20 | -5 |
| Aluminio | 400 | 205 | -325 | -160 |
| Bronce | 550 | 285 | -325 | -160 |
| Monel 400 | 900 | 480 | -325 | -160 |
| Titanio | 600 | 315 | - | - |
| Niquel | 500 | 260 | -325 | -160 |

(Skousen, 1998, 53)

J. Criterio para selección de válvulas

La medida usualmente aplicada a las válvulas es el coeficiente de la válvula C_v , también conocido como el coeficiente de flujo. Al seleccionar un tipo y tamaño de válvula para cierta aplicación el coeficiente es usado para determinar el tamaño de la válvula que mejor va a permitir el paso de flujo requerido, mientras que provee también un control estable del proceso. Si el C_v no es calculado correctamente para cierta válvula, la válvula usualmente experimenta una desmejora en su desempeño de dos maneras: Si el C_v es demasiado pequeño para el proceso requerido, entonces la válvula estará subdimensionada y se perderá precisión en el control además de no cumplir con el flujo requerido para el proceso. Si el C_v es demasiado

grande para la aplicación, entonces la válvulas se sobredimensionará y esto se reflejará en costes más altos debido a válvulas más grandes, además de peso de más y tamaño que dificultará la instalación o desinstalación. (Skousen, 1998, 21)

Cuadro No. 1
Cuadro para selección correcta de válvulas

| Cuadro para selección de válvulas | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|------------------------------|------------|------------|------------------|-----------------------|-----------|------------|
| Válvula | Tipo | Modo de regulación del flujo | | | Fluido | | | |
| | | On-Off | Reguladora | Divergente | Libre de sólidos | Sólidos en suspensión | | |
| Grupo | Tipo | On-Off | Reguladora | Divergente | Libre de sólidos | No abrasivos | Abrasivos | Sanitarios |
| Cerrando hacia abajo | Globo | Sí | Sí | Sí | Sí | | | |
| Deslizantes | Compuerta paralela | Sí | | | Sí | Sí | Sí | |
| | Compuerta Wedge | Sí | Moderado | | Sí | | | |
| Rotativas | Bola | Sí | Moderado | Sí | Sí | Sí | | |
| | Mariposa | Sí | Sí | Especial | Si | Sí | | Sí |

(Zappe, 1999,50)

Definición del C_v

Un C_v se define como un galón (3.78 litros) de agua a 60°F (16°C) que fluye a través de una abertura, como la de una válvula, durante un minuto con una caída de presión de 1 psi. La ecuación simplificada para calcular el C_v :

$$C_v = \text{Caudal} \times \sqrt{\frac{\text{Gravedad específica @ temperatura del fluido}}{\Delta P}}$$

(Skousen, 1998, 22)

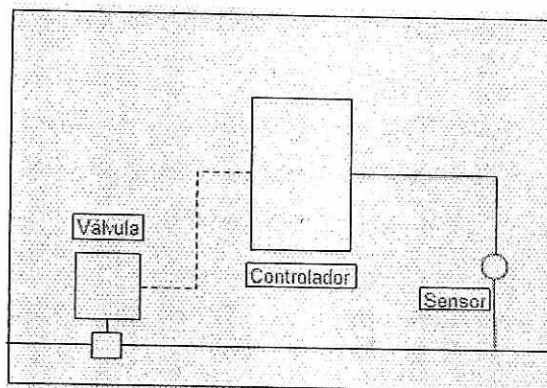
K. Válvulas de control

Un sistema realimentado consiste básicamente en un sensor de las condiciones del sistema, un transmisor y un controlador que compara la variable del sistema recibida del transmisor con el punto de referencia, en este caso la condición deseada del sistema. El controlador a su vez, envía una señal correctiva al controlador final del sistema, la última parte del sistema y el músculo del sistema de control del proceso. Las válvulas de control son el tipo más común de un controlador final del sistema. (Baumann, 1991, 1)

Las válvulas de control son las más usadas como elementos finales de control. El término elemento final de control se refiere al equipo de alto rendimiento necesario para proveer del poder y la precisión para controlar el fluido a las condiciones de servicio deseadas. Como elemento del control final, la válvula de control es parte del lazo de control que usualmente consiste en otros dos elementos aparte de la válvula de control: el elemento sensor y el controlador. El elemento sensor o sensor mide las condiciones específicas del proceso, como la temperatura, el nivel o la presión. El sensor utiliza un transmisor para enviar una señal con información acerca de las condiciones del proceso al controlador. El controlador recibe la señal y la compara con el "set point" o el punto de referencia previamente establecido. Al comparar las condiciones del sistema con la referencia el controlador puede hacer cualquier corrección que sea necesaria para regresar las condiciones al punto de referencia. Estas correcciones las hace por medio de la válvula de control. La válvula de control hace el cambio de acuerdo a la señal del controlador que es medido por el sensor, completando de esta manera el lazo de control. (Skousen, 1998, 12)

Figura No. 4

Lazo de control cerrado



(Skousen, 1998, 12)

A este tipo de sistema también suele llamársele sistema de lazo cerrado o sistema con retroalimentación.

Según otro autor, durante los años ha existido cierto tipo de confusión entre las definiciones de válvula estranguladora y válvula de control. Algunas personas usan las dos definiciones como si se tratara de lo mismo ya que las dos tienen el mismo propósito: regular el flujo desde totalmente abierta hasta totalmente cerrada. Una válvula estranguladora es cualquier válvula en la cual su elemento de cerradura tienen un doble propósito, no sólo de abrir o bloquear el flujo sino que también moverse en cualquier posición a lo largo de su carrera, de este modo regulando el flujo del proceso, temperatura o presión. Una válvula de control está diseñada para tomar una caída de presión para reducir la presión en la línea, flujo o temperatura. Los pasajes interiores de una válvula de control están diseñados para manejar un diferencial de presión, mientras que las válvulas tipo "ON-OFF" están diseñadas para permitir el flujo sin que sufra una caída de presión muy grande. Las válvulas estranguladoras deben tener algún tipo de dispositivo mecánico que use poder suplido por un ser humano, un resorte, presión de aire o fluido hidráulico para asistir en el posicionamiento. Reguladoras de presión también son consideradas válvulas estranguladoras ya que varían la posición de su elemento regulador para mantener una presión constante aguas abajo del proceso. (Skousen, 1998, 220)

Por definición una válvula de control, también conocida como válvula de control automático, es una válvula estranguladora, pero está equipada en la mayoría de veces con algún tipo de sistema de actuación que está diseñado para trabajar en un lazo de control. Como se mencionó anteriormente la válvula es el elemento final de control en un proceso de lazo. Esta relación con el lazo de control es lo que distingue a las válvulas de control de las válvulas de estrangulamiento. Las válvulas de estrangulamiento pueden convertirse en válvulas de control con la adición de un sistema de actuación que pueda ser adaptado al lazo de control. (Skousen, 1998, 220)

Las válvulas de control son vistas en dos partes principales: la parte del cuerpo y el actuador (sistema de actuación). Generalmente las válvulas de control son divididas en tres tipos: globo, mariposa y bola. Variaciones de estos tres tipos han resultado en docenas de diseños disponibles. Cada diseño tiene su aplicación específica, ventajas, características y desventajas. (Skousen, 1998, 221)

La distinción entre válvulas automatizadas y de control es usualmente considerada por la capacidad de modular, es decir asumir un número infinito de posiciones de regulación durante el servicio de control normal. Físicamente hay tres componentes básicos en una válvula de control;

- El cuerpo de la válvula que es la parte trabajadora y a su vez un contenedor de presión
- El actuador, el dispositivo que posiciona al elemento regulador dentro del cuerpo de la válvula
- Los accesorios, posicionadores, sensores de presión, válvulas solenoides, etc. (Baumann, 1991, 2)

He aquí algunas consideraciones importantes con respecto a la instalación de las válvulas de control.

Accesibilidad: ¿Hay suficiente espacio para remover el actuador en dado caso haya que realizarle alguna reparación? ¿Se puede ajustar fácilmente el posicionador o el set point? (Baumann, 1991, 19)

Consideraciones para una operación manual: En muchas aplicaciones críticas se debe considerar una válvula de control para ser operada manualmente en un “bypass” alrededor de la válvula de control principal, con su apropiado bloque de válvulas para drenaje de cada lado de la válvula de control que permitirán la reparación o cambio de la válvula sin tener que detener el proceso. (Baumann, 1991, 19)

Localización: ¿Está ubicada en un lugar que permita realizarle reparaciones? ¿Está localizada en un lugar óptimo para prevenir que ocurra cavitación?. (Baumann, 1991, 19)

Es importante notar que los errores más comunes a la hora de instalar una válvula son: mal:

- El instalador olvida apretar la rosca de la válvula o los tornillos del flange o aprieta mucho.
- El instalador no presta atención a la flecha indicativa de la dirección del flujo y la válvula se instaló al revés.
- No se instaló un filtro aguas arriba de la válvula (Baumann, 1991, 81)

1. Válvulas de control tipo globo. De todas los tipos de válvulas de control, la válvula de globo de movimiento lineal es la más común de todos debido a su simplicidad en el diseño, versatilidad en aplicaciones, facilidad en el mantenimiento y habilidad de manejar rangos amplios de temperaturas y presión. La válvula de globo es la válvula de control más encontrada en la industria aunque su demanda no es tan alta con la evolución de las válvulas de alto desempeño rotativas, que ofrecen un costo menor y menor tamaño. El rango de tamaños de las válvulas tipo globo varia desde 0.5 a 42 pulgadas para clases de baja presión, desde

1 a 24 pulgadas para altas presiones (600-2500psi) y de 1 a 12 pulgadas para presiones de hasta 4500 psi. (Skousen, 1998, 222)

Por definición, una válvula de globo es una válvula de movimiento lineal caracterizada por un cuerpo en forma de globo. La más común de éstas es la de un único asiento ubicado en el centro del cuerpo de la válvula. La otra alternativa es la válvula de doble asiento. (Skousen, 1998, 223)

Las ventajas de las válvulas de control tipo globo son muchas; a eso se debe su popularidad. En general, las válvulas de globo son bastante versátiles y pueden ser usadas en una gran variedad de servicios. La misma válvula puede ser usada en una docena de diferentes aplicaciones siempre y cuando no se excedan los límites de presión y temperatura y el proceso no requiera de aleaciones especiales para combatir la corrosión. Esta versatilidad permite la reducción de inventario de piezas de repuesto. Debido a su movimiento lineal, la fuerza generada por el actuador o sistema de actuación es transmitida directamente al elemento regulador, debido a eso se pierde muy poca energía en la transmisión de la fuerza. Por otro lado, las válvulas rotativas si pierden un poco de la energía proveniente del actuador además de precisión en comparación con el movimiento lineal debido a su mayor eficiencia mecánica en los engranajes. Debido a esto, las válvulas de globo son capaces de tener un alto desempeño y son usadas en aplicaciones donde tal desempeño es necesario. (Skousen, 1998, 223)

Una de las mayores ventajas de las válvulas de control tipo globo es su habilidad a soportar procesos extremos. Están diseñadas para trabajar en grandes caídas de presión, manejar diferenciales de presión de miles de libras de presión. Las válvulas de globo pueden ser diseñadas para manejar grandes presiones al incrementar el grosor de la pared del cuerpo de la válvula y usar bridas más grandes y robustas. (Skousen, 1998, 224)

Como se mencionó anteriormente la mayor desventaja de las válvulas tipo globo es que al aumentar su tamaño, aumenta su peso y su costo en comparación a las válvulas rotativas. (Skousen, 1998, 225)

El flujo en las válvulas tipo globo entra por el puerto entrada a la válvula y donde se encuentra el asiento debe hacer un giro de 90° hacia abajo y luego otro giro de 90° hacia el puerto de escape. En los casos en los cuales la presión aguas abajo es menor que la de aguas arriba, el flujo se mueve desde el puerto de entrada hacia al asiento y luego hacia el puerto de salida. Al momento de pasar por el asiento la presión en la línea se reduce y la velocidad aumenta. Luego de pasar el asiento y llegar a la parte baja del cuerpo, el área se expande, la presión se recupera, la velocidad se reduce y el flujo continúa a través del puerto de escape. (Skousen, 1998, 233)

2. Definición de los actuadores o sistemas de actuación. Las válvulas de control requieren de un *actuador*, que es definido como cualquier dispositivo montado en una válvula que en respuesta a una señal, automáticamente mueve la válvula a la posición requerida usando alguna fuente de poder. Clasificaciones típicas de actuadores incluyen actuadores neumáticos, actuadores de motor eléctrico y actuadores electro hidráulicos. (Skousen, 1998, 322)

Los actuadores son elementos críticos en un sistema de lazo de control que consiste en un dispositivo sensor, un controlador, y un actuador montados sobre una válvula. Con un sistema de lazo cerrado, un dispositivo sensor, como un sensor de temperatura o de flujo, es instalado aguas abajo de la válvula de control y es configurado para medir una variable particular en el proceso. El sensor reporta lo que descubre al controlador y éste compara la información actual con el valor predeterminado y requerido por el proceso. Si la variable medida por el sensor es diferente al valor predeterminado, el controlador envía una señal correctiva al actuador de la válvula de control. Esta señal puede ser enviada de tres diferentes formas: incrementando o disminuyendo la presión del aire, variando el voltaje o incrementando o disminuyendo la presión hidráulica. El actuador recibe la señal y se mueve de acuerdo, variando la posición del elemento de cerradura hasta que el controlador determina que el valor medido es igual al predeterminado. En ese momento el actuador deja de moverse y se queda estable en la misma posición regulando el flujo constantemente. (Skousen, 1998, 323)

No sólo el actuador debe tener la habilidad para ajustarse a la señal cambiante sino que también debe tener la suficiente fuerza para vencer las fuerzas internas del proceso, los efectos de la gravedad y fricción dentro de la propia válvula. (Skousen, 1998, 323)

L. Dimensionamiento del cuerpo de válvulas de control para servicio gaseoso

La diferencia básica entre dimensionar válvulas de control para líquidos que para gases es que los gases son compresibles. Debido a su compresibilidad los gases tienen tendencia a expandirse cuando ocurre una caída de presión. Esto a su vez causa que el gas baje su peso específico. Esta disminución en el peso específico debe tomarse en cuenta durante el proceso de dimensionamiento usando un factor especial llamado *factor de expansión Y*. (Skousen, 1998, 458)

Dependiendo de las condiciones del servicio, una de estas cuatro ecuaciones se puede usar para dimensionar correctamente la válvula.

$$\omega = 63.3 F_p C_v P_1 Y \sqrt{x P_1 \gamma_1}$$

$$Q = 1360 F_p C_v P_1 Y \sqrt{\frac{x}{G_s T_1 Z}}$$

$$\omega = 19.3 F_p C_v P_1 Y \sqrt{\frac{x M_w}{T_1 Z}}$$

$$Q = 7320 F_p C_v P_1 Y \sqrt{\frac{x}{M_w T Z}}$$

Donde:

ω = flujo másico del gas (lb/h)

F_p = factor geométrico de la tubería (se asume 1.0 para gases)

C_v = coeficiente válvula

Y = coeficiente de expansión

x = relación de caída de presión

γ_1 = peso específico a la entrada de la válvula (lb/ft³)

Q = flujo de gas (scfh)

G_g = gravedad específica

T_1 = temperatura absoluta aguas arriba ($^{\circ}R = ^{\circ}F + 460$)

Z = factor de compresibilidad

M_w = peso molecular

P_1 = presión absoluta aguas arriba (psia)

Una de estas cuatro ecuaciones debe ser seleccionada dependiendo de las condiciones del sistema disponibles. (Skousen, 1998, 459)

Según el catálogo Hoffman Specialty, el proveedor de las válvulas, se puede calcular el C_v de otra manera para servicio con vapor, siendo P_1 la presión de entrada de la válvula y P_2 la presión de salida.

Cuando $P_2 < 0.5 P_1$:

$$C_v = \frac{lbs / hr}{1.5 * P_1}$$

Cuando $P_2 > 0.5 P_1$:

$$C_v = \frac{lbs / hr}{2.1 \sqrt{\Delta P * (P_1 + P_2)}}$$

(Hoffman Specialty General Catalog, 2002, 128)

La relación de caída de presión terminal x_T es determinada al tomar el valor apropiado proporcionado por la siguiente tabla:

Cuadro No. 2
Factores X_T típicos

| Estilo de la válvula | Dirección del flujo | x_T |
|----------------------|---------------------|-------|
| Globo | Sobre el asiento | 0.70 |
| | Bajo el asiento | 0.75 |
| Mariposa | 60° abierta | 0.36 |
| | 90° abierta | 0.26 |
| Bola | 60° abierta | 0.51 |
| | 90° abierta | 0.30 |

(Skousen, 1998, 460)

La relación actual x de caída de presión puede ser determinada también de esta forma:

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

Cuando la caída de presión a través de una válvula no se sabe es posible asumir una caída de presión de alrededor de 25% de la presión de entrada. (Spirax Sarco, 1997, 26)

El factor de relación de calores específicos F_k se puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$F_k = k/1.40$$

Donde F_k es el factor de relación de calores específicos y k es la relación de calores específicos. (Skousen, 1998, 459). La relación de calores específicos se puede encontrar en la tabla No. 5:

Tabla No.4
 Datos físicos para gases de servicio comunes

| Gas | Peso molecular M_w | Temperatura crítica °R * | Presión crítica psi | Relación de calores específicos k |
|---------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Aire | 28.97 | 227° | 492 | 1.40 |
| Amoniaco | 17.00 | 730° | 1636 | 1.31 |
| Argon | 39.95 | 271° | 707 | 1.67 |
| Dióxido de carbono | 44.01 | 547° | 1070 | 1.29 |
| Monóxido de carbono | 28.01 | 239° | 507 | 1.40 |
| Etano | 30.07 | 549° | 709 | 1.19 |
| Etileno | 28.10 | 508° | 731 | 1.24 |
| Helio | 4.00 | 9° | 33 | 1.66 |
| Hidrógeno | 2.02 | 59° | 188 | 1.40 |
| Metano | 16.04 | 343° | 667 | 1.31 |
| Gas natural | 16.04 | 343° | 667 | 1.31 |
| Nitrógeno | 28.00 | 227° | 492 | 1.40 |
| Oxígeno | 32.00 | 278° | 732 | 1.40 |
| Propano | 44.10 | 665° | 616 | 1.31 |
| Vapor | 18.02 | 1165° | 3208 | 1.33 |

$$*^{\circ}R = ^{\circ}F + 460 \text{ (Skousen, 1998, 461)}$$

Si el valor de x es menor que el valor de $F_k * x_T$ entonces no está ocurriendo flujo estrangulado. Ahora si éste no es el caso, entonces el flujo es estrangulado y si éste es el caso el valor $F_k * x_T$ debe ser usado en vez de x para el cálculo del dimensionamiento. (Skousen, 1998, 461)

Debido a la compresibilidad de los gases, el coeficiente de expansión Y debe ser determinado usando la siguiente ecuación

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

Si el flujo es estrangulado el valor $F_k * x_T$ debe ser usado en vez de x . (Skousen, 1998, 461)

El coeficiente de compresibilidad Z se calcula determinando la presión reducida P_r y la temperatura reducida T_r .

$$P_r = \frac{P_1}{P_c}$$

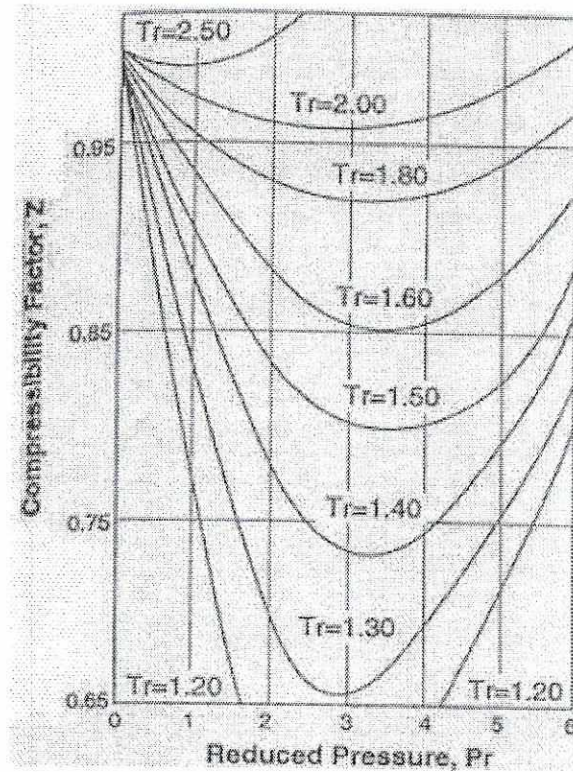
$$T_r = \frac{T_1}{T_c}$$

En donde, P_c y T_c son los valores críticos. (Skousen, 1998, 462)

Con estos dos valores se pueden usar las siguientes gráficas:

Gráfica No. 2

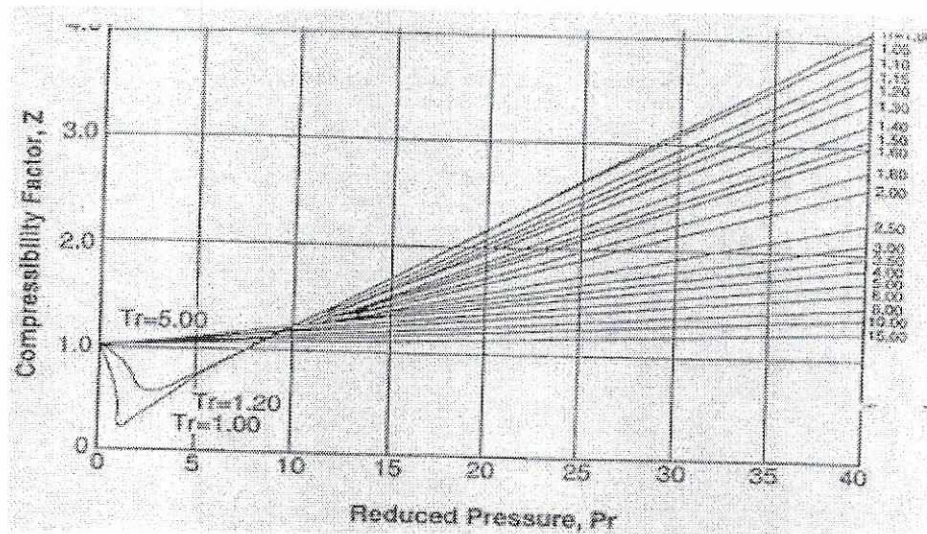
Gráfica para encontrar el factor de compresibilidad Z



(Skousen, 1998, 463)

Gráfica No. 3

Gráfica para encontrar el factor de compresibilidad Z



(Skousen, 1998, 464)

Con todos estos factores calculados se puede escoger la ecuación que mejor se adapte a las condiciones y variables disponibles para calcular el C_v y se debe escoger el tamaño de válvula con el C_v que se acerque lo más posible al C_v calculado. (Skousen, 1998, 462)

M. Oportunidades de conservación de energía en sistemas de vapor

Ya que en este caso se estará tratando con una red de vapor es importante conocer algunos aspectos como las oportunidades de conservación de energía en este tipo de sistemas.

Estas oportunidades son:

- Posibilidad de reducción de longitud de tuberías de vapor: menor área de convección y radiación y menos fricción, menos pérdida de presión
- Evitar el paso de líneas de vapor subterráneas bajo lugares propensos a inundaciones o acumulación de agua
 - Mantenimiento del aislamiento térmico
 - Aislamiento a las paredes y techo de tanques calientes

- Mantenimiento continuo a trampas de vapor y definición de programa de reemplazo
 - Realización de estudio de trampas de vapor para determinar el tipo mas eficiente para su futuro reemplazo
 - Remover o sellar trampas de vapor innecesarias
 - Desconectar tuberías en desuso
 - Reparación de fugas
 - Revisar operaciones de venteo de vapor a baja presión (85% de la energía original permanece en el vapor de escape)
 - Evaluar la temperatura de tanques calentados con vapor, manteniendo al mínimo necesario al fin de consumir menos vapor
 - Instalación de precalentadores de aire (intercambiadores-gases de escape)
 - Utilizar la corriente de purga mínima

(Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial Ahorro, 1990, 15)

N. Trampas de vapor

El calor se requiere para calentamiento y también para algunos procesos industriales. Dicho calor se transporta desde una caldera a un punto para su uso mediante medios como agua, aceite o vapor empleando los principios de transferencia de calor; este último medio es en realidad el medio más versátilmente utilizado (Internet 1)

El vapor se genera en una caldera y se transporta a través de la tubería hasta los equipos de vapor. Estas tuberías deben estar correctamente aisladas o con recubrimiento con el fin de prever la pérdida de calor, no obstante parte de calor es radiado al medio ambiente. En este transporte el vapor cede calor a las paredes de la tubería y empieza a condensar en agua (agua caliente) y a depositarse en el fondo de la misma. Si este condensado se le permite mantenerse en la tubería el ocasionará tanto perdida de calor como bloqueo con sus correspondientes consecuencias. (Internet 1)

De la misma manera cuando el vapor ingresa en los equipos, el calor es transferido a través de las paredes al fluido o producto empezando su calentamiento. Como el vapor cede su calor este condensa, el condensado así formado comienza a acumularse en el espacio destinado para el vapor en el equipo. (Internet 1)

Por lo tanto el simple uso de las trampas de vapor es para drenar el condensado sin permitir la fuga del vapor. (Internet 1)

Realmente las trampas tienen tres funciones básicas:

- Remover el condensado
- No dejar escapar el vapor
- Remover el aire y los gases no condensables

Las trampas para vapor, son empleadas para funciones que no son tan aparentes. Cuando el sistema de vapor se interrumpe o apaga, aire ingresa en las tuberías para ocupar el espacio del vapor en compañía con el condensado generado. Las trampas para vapor deben por tanto desalojar ese aire en el momento de arranque de estos sistemas. (Internet 1)

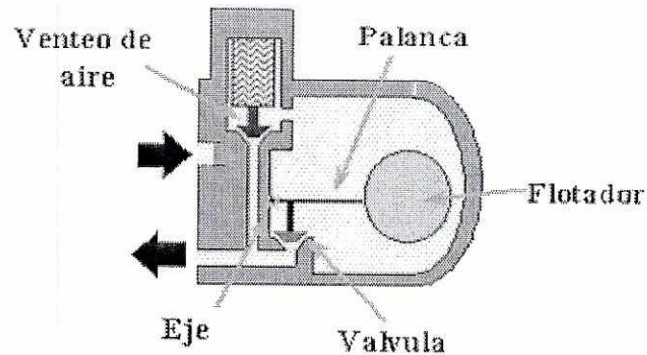
Existen varios tipos de trampas para vapor, no todas ellas son capaces de cumplir correctamente las funciones antes mencionadas. Dichas trampas se pueden clasificar en tres principales categorías:

- Mecánicas.
- Termostáticas.
- Termodinámicas.

Las trampas mecánicas trabajan con el principio de diferencia entre la densidad del vapor y la del condensado. Por ejemplo, un flotador que asciende a medida que el nivel del condensado se incrementa, abriendo una válvula, pero que en presencia del vapor la mantiene cerrada. Las trampas mecánicas no pueden permitir el venteo de aire o de gases no condensables, sin embargo puede incorporarse un elemento térmico en algunas versiones. Estos elementos son versiones miniaturas de las trampas termostáticas. (Internet 1)

Figura No. 5

Trampa mecánica convencional



(Internet 1)

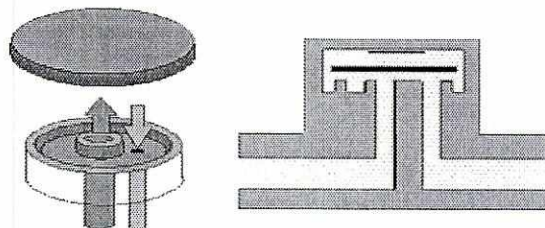
Las trampas termostáticas operan por la percepción de la temperatura del condensado. Cuando la temperatura cae a un específico valor por debajo de la temperatura del vapor, la trampa termostática abrirá para liberar el condensado. (Internet 1)

Finalmente, la tercera categoría es la trampa termodinámica, la cual opera con la diferencia entre el flujo del vapor sobre una superficie, comparada con el flujo del condensado sobre la misma superficie. (Internet 1)

El vapor o el gas fluyendo sobre la superficie crea un área de baja presión. Este fenómeno es empleado para mover la válvula hacia el asiento y así cerrar su paso. (Internet 1)

Figura No.6

Trampa de termodisco



(Internet 1)

A continuación se presentan los diferentes tipos de trampas para vapor dentro de las tres principales categorías ya mencionadas:

Cuadro No.3
Tipos de trampas de vapor

| | | |
|----------------|----------------------------|------------------------|
| Mecánicas | Flotador Termostáticas. | Flotador libre. |
| | Cubeta invertida. | Flotador con nivel. |
| | | Cubeta libre. |
| Termostáticas | Expansión. | Cápsula con líquido. |
| | Presión Balanceada. | Fuelle tipo diafragma. |
| | Bimetálicas. | Bimetálicas. |
| Termodinámicas | Disco. | Cámara expuesta. |
| | Impulso. | Aislamiento con aire. |
| | | Aislamiento con vapor. |
| | | Orificio y pistón. |

(Internet 1)

III. DESCRIPCIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE

El ingeniero de planta, el señor Luc Deweerdt, me presenta las necesidades en el área de teñido de la tela en la planta de “Los Estanques”. Lo que me describe es lo siguiente:

Se tienen 15 baños de acero inoxidable de diferentes tamaños de forma rectangular donde se tiñen las telas con agua caliente al adherirles los colorantes especiales para darles el color necesario solicitado por el cliente. Para que la tela tome el color exacto solicitado por el cliente, el operario debe añadir con base en “recetas” la cantidad y variedad de color indicada por esta “receta”. Pero no sólo esto es lo que le da el color preciso a la tela, la temperatura del agua juega un papel importantísimo en este proceso. El rango de temperaturas al que se llevan estos teñidos es entre 60 y 80°C. Para cada color existe una temperatura precisa entre este rango para el color deseado. El problema en la planta es que no se tiene un control preciso para regular esta temperatura en los baños.

Para calentar el agua en los baños se utiliza vapor que es generado por una caldera marca Cleaver Brooks que funciona a 100psi. El vapor sale por la tubería principal hacia los baños y en cada baño se separa una rama de tubería que entra al baño y forma un serpentín que funciona como intercambiador de calor. Después sale la tubería fuera del baño y se une a la tubería de retorno de condensados, luego de pasar por su respectiva trampa de vapor a la salida de cada tanque.

El procedimiento que se sigue es que se tiene un operario por baño o baños (dependiendo de la demanda), que está controlando constantemente mediante un termómetro, la temperatura del agua en el baño. Éste cierra y abre una válvula de bola colocada a la entrada del serpentín en el tanque, que permite o restringe el paso del vapor, controlando de esta forma la temperatura del agua. El problema es entonces que ya que es un proceso controlado por un ser humano, existe la posibilidad de fallas en el control de la temperatura. El operario se va y deja la válvula abierta o cerrada y no se tiene la temperatura necesaria para obtener el color deseado. Esto eleva los costos de la planta ya que se echan a perder muchas telas de alto costo que son importadas de la India. Aunque el operario esté todo el tiempo controlando la

temperatura existe un leve porcentaje de error en el control de la temperatura ya que este no puede estar observando detenidamente por una hora el termómetro y estar cerrando y abriendo la válvula de bola. Además hay que invertir más dinero si se quiere tener a un operario por baño para llevar un mejor control.

Luego de escuchar las necesidades del ingeniero de planta se plantea una solución:

La solución propuesta fue seleccionarles, dimensionarles e instalarles válvulas reguladoras de temperatura para cada baño. El funcionamiento de estas válvulas sería mucho más preciso que el hecho de tener un operario en el baño controlando la temperatura. Estas válvulas tienen un bajísimo porcentaje de error ya que son válvulas que funcionan en un sistema de lazo cerrado, es decir que funcionan con retroalimentación. La retroalimentación para estas válvulas consiste en un bulbo dentro de un termopozo de acero inoxidable dentro del tanque, que está constantemente detectando la temperatura del agua. Este bulbo está conectado mediante un capilar al actuador de la válvula que mediante un líquido que se expande o contrae mediante su temperatura envía la señal para que la válvula abra y cierre el paso mediante un actuador en una válvula de globo. De esta forma el operario puede fijar una temperatura de operación en la válvula y despreocuparse del control de la temperatura ya que la válvula se encargará de esto. Así se necesitan menos operarios en la planta y se reduce el costo de operación y gastos por mal control de la temperatura que echan a perder las telas.

Luego que el cliente estuviera de acuerdo con la idea, se procedió a recopilar los datos, variables y condiciones del sistema para poder seleccionar y dimensionar el tipo de válvula reguladora de temperatura para poder ofrecerles una cotización para importarlas de los Estados Unidos. El trabajo de selección y dimensionamiento es el tema de este trabajo.

IV. RECOLECCIÓN DE DATOS Y VARIABLES DEL SISTEMA

Las variables y datos necesarios para la correcta selección y dimensionamiento de las válvulas son:

Cuadro No.4

Dimensión de los baños de teñido en pulgadas

| Teñidora | Ancho | Largo | Profundidad |
|----------|-------|-------|-------------|
| #1 | 132 | 43 | 57 |
| #2 | 48 | 132 | 57 |
| #3 | 90 | 50 | 40 |
| #4 | 101 | 49 | 38 |
| #5 | 70 | 48 | 46 |
| #6 | 44 | 43 | 35 |
| #7 | 30 | 52 | 30 |
| #8 | 44 | 35 | 35 |
| #9 | 57 | 32 | 24 |
| #10 | 35 | 26 | 28 |
| #11 | 52 | 31 | 18 |
| #12 | 48 | 31 | 18 |
| #13 | 47 | 34 | 17 |
| # 14 | 46 | 52 | 35 |
| # 15 | 48 | 52 | 35 |

Presión de operación de la caldera = 100 psig = 112.2 psia

Presión del sistema de retorno de condensados = Atmosférica = 12.2 psia (Antigua Guatemala)

Presión del vapor en el serpentín = 75 psig = 87.2 psia

Rango de temperaturas a manejar por válvulas reguladoras =

$$60^{\circ}\text{C} - 82^{\circ}\text{C} = (140^{\circ}\text{F} - 180^{\circ}\text{F})$$

Temperatura de agua de alimentación de los baños = $20^{\circ}\text{C} = 68^{\circ}\text{F}$

Temperatura del condensado = $60^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C} = (140^{\circ}\text{F} - 176^{\circ}\text{F})$

Tiempo requerido para calentar el agua = 20 minutos

| | |
|---|-----------------|
| SG=Gravedad específica del agua líquida | 0.995 |
| Cp=Calor específico del agua líquida | 1.003 Btu/lb-°F |
| Lat=Calor latente del vapor @87.2 psia | 897 Btu/lb |

V. SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS REGULADORAS DE TEMPERATURA

El proceso de seleccionar y dimensionar una válvula consiste en calcular el tamaño y modelo según el servicio de ésta de acuerdo a las opciones presentadas por el proveedor, que en este caso es la empresa norteamericana IIT Hoffman Specialties. Con tamaño me refiero al tamaño de conexión, y por ende a la cantidad de vapor que puede pasar a través de la válvula. A mayor tamaño de conexión, mayor cantidad de vapor pasa a través de la válvula reduciendo de esta manera el tiempo necesario para llegar a la temperatura requerida del agua. Pero a mayor tamaño de conexión, mayor será la válvula en sí, por lo tanto su precio se eleva. En el caso de la planta “Los Estanques” el tiempo requerido por ellos para calentar el agua es de 20 minutos, ya que mientras menos tiempo se requiera para calentar el agua, mayor deberán ser las válvulas y de esta forma se elevarían los costos por lo cual 20 minutos se consideró un tiempo justo y razonable.

Las variables principales en este tipo de análisis son: la cantidad de agua que se necesita calentar, el tiempo en el que se necesita calentarla, la temperatura de agua de alimentación del sistema, la temperatura final del agua, la temperatura requerida por la “receta” para darle el color necesario a la tela. Por lo tanto, para poder dimensionar las válvulas se necesita primero calcular el flujo másico de vapor en lb/hr que debe fluir a través del serpentín para cumplir con los tres principales requisitos, cantidad de agua a calentar, tiempo y diferencia de temperaturas.

A. Cálculo del flujo másico del vapor

Para poder calcular el flujo másico del vapor se utilizó una fórmula que se encuentra en el catálogo de productos para redes de vapor marca “Armstrong”. Esta fórmula integraba los tres requisitos principales en el sistema, la fórmula es la siguiente:

$$\frac{lb}{hr} \text{ vapor} = \frac{Gal * SG * Cp * \Delta T * 8.3}{Lat * T}$$

En donde:

Gal = cantidad de agua a calentar en galones

SG = gravedad específica del agua

Cp = calor específico del agua

ΔT = diferencia de temperaturas °F

Lat = calor latente del vapor @ presión sistema

T = tiempo requerido para calentar el agua en horas

A continuación se presenta una tabla donde se muestra la cantidad de agua en galones por baño que se necesitan calentar:

Tabla No. 5
Cantidad de agua en galones por baño

| Teñidora | Ancho | Largo | Profundidad | pulgadas ³ | Cm ³ | Litros | Galones |
|----------|-------|-------|-------------|-----------------------|-----------------|----------|----------|
| #1 | 132 | 43 | 57 | 323,532.00 | 5,301,739.59 | 5,301.74 | 1,402.58 |
| #2 | 48 | 132 | 57 | 361,152.00 | 5,918,220.94 | 5,918.22 | 1,565.67 |
| #3 | 90 | 50 | 40 | 180,000.00 | 2,949,671.52 | 2,949.67 | 780.34 |
| #4 | 101 | 49 | 38 | 188,062.00 | 3,081,784.03 | 3,081.78 | 815.29 |
| #5 | 70 | 48 | 46 | 154,560.00 | 2,532,784.61 | 2,532.78 | 670.05 |
| #6 | 44 | 43 | 35 | 66,220.00 | 1,085,151.38 | 1,085.15 | 287.08 |
| #7 | 30 | 52 | 30 | 46,800.00 | 766,914.60 | 766.91 | 202.89 |
| #8 | 44 | 35 | 35 | 53,900.00 | 883,262.75 | 883.26 | 233.67 |
| #9 | 57 | 32 | 24 | 43,776.00 | 717,360.11 | 717.36 | 189.78 |
| #10 | 35 | 26 | 28 | 25,480.00 | 417,542.39 | 417.54 | 110.46 |
| #11 | 52 | 31 | 18 | 29,016.00 | 475,487.05 | 475.49 | 125.79 |
| #12 | 48 | 31 | 18 | 26,784.00 | 438,911.12 | 438.91 | 116.11 |
| #13 | 47 | 34 | 17 | 27,166.00 | 445,170.98 | 445.17 | 117.77 |
| # 14 | 46 | 52 | 35 | 83,720.00 | 1,371,925.00 | 1,371.92 | 362.94 |
| # 15 | 48 | 52 | 35 | 87,360.00 | 1,431,573.91 | 1,431.57 | 378.72 |

Además las condiciones del vapor y del agua:

| | |
|---|-----------------|
| SG=Gravedad específica del agua líquida | 0.995 |
| Cp=Calor específico del agua líquida | 1.003 Btu/lb-°F |
| Lat=Calor latente del vapor @ 87.2psia | 897 Btu/lb |

(Armstrong General Catalog, 2004, 232)

El calor latente del vapor corresponde a una presión de 87.2psi que es la presión de operación en el serpentín.

Para calcular la diferencia de temperaturas se procede a realizar una resta entre la mayor temperatura que se desea poder controlar por la reguladora y la temperatura del agua de alimentación:

$$\Delta T = 82^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 62^{\circ}\text{C} = 144^{\circ}\text{F}$$

$$T = 20 \text{ min} = 0.333333 \text{ horas.}$$

A continuación una tabla con los resultados del cálculo del flujo másico del vapor requerido según las condiciones del sistema usando la ecuación del manual de Armstrong:

Tabla No. 6
Flujo másico requerido

| Teñidora | Galones | lb/hr vapor |
|----------|----------|-------------|
| #1 | 1,402.58 | 5,600.86 |
| #2 | 1,565.67 | 6,252.12 |
| #3 | 780.34 | 3,116.09 |
| #4 | 815.29 | 3,255.65 |
| #5 | 670.05 | 2,675.68 |
| #6 | 287.08 | 1,146.37 |
| #7 | 202.89 | 810.18 |
| #8 | 233.67 | 933.10 |
| #9 | 189.78 | 757.83 |
| #10 | 110.46 | 441.10 |
| #11 | 125.79 | 502.31 |
| #12 | 116.11 | 463.67 |
| #13 | 117.77 | 470.29 |
| # 14 | 362.94 | 1,449.33 |
| # 15 | 378.72 | 1,512.34 |

B. Primer método: Cálculo del C_v usando la ecuación de Skousen

Luego de tener la cantidad de vapor por hora que debe fluir a través del serpentín, se procede a seleccionar y calcular la dimensión de las válvulas de tres distintas formas, primero calculando el C_v de las válvulas y seleccionándolas del catálogo del proveedor, segundo con las tablas proporcionadas por el proveedor en

su catálogo para poder seleccionar el tamaño de la válvula dependiendo del flujo másico requerido y tercero usando la ecuación de C_v proporcionada por el proveedor.

Cuadro No. 5

Datos para seleccionar el modelo o Body Code de la válvula dependiendo de las condiciones del sistema

| Selection Data | | | | |
|----------------|---------|-------|-------------------------------|---|
| Body Code | Service | | Body Design | Recommended Application |
| | Water | Steam | | |
| 01 | X | X | Two way Heating | Low pressure up to 50 psi (3.5 bar) Differential (Composition Disc) |
| 02 | X | X | Two way Heating | Low & High pressure up to 125 psi (8.6 bar) Differential (SS Seat and Disc) |
| 02R | X | | Two way Cooling | |
| 03 | | X | Two way Heating | High pressure up to 250 psi (17.3 bar) Differential (SS Seat and Disc) |
| 05 | X | X | Two way Heating | High pressure up to 250 psi (17.3 bar) Differential (Double Seated SS) |
| 05R | X | | Two way Cooling | |
| 06 | X | | Three way Mixing or Diverting | Sliding piston three way valve |

(Hoffman Specialty General Catalog, 2002, 60)

De acuerdo a la tabla proporcionada por el proveedor se procede a seleccionar los posibles "Body Codes" o modelos y los que quedan en el rango son los modelos 02, 03 y 05 ya que cumplen con ser para servicio vapor y están entre el rango de presión a soportar. Ahora dependerá de la cantidad de flujo de vapor que necesite cada baño para poder seleccionar específicamente uno de estos tres "Body Codes".

Cálculo del C_v para la teñidora #1

Cuadro No.6

Condiciones del sistema

| | |
|-------------------------|---------|
| Gas | Vapor |
| Temperatura @ 112.2psia | 336.2°F |

| | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Presión aguas arriba P_1 | 100psig |
| Presión aguas abajo P_2 | 75 psig |
| Caudal Q o w | 5,600 lb/h |
| Presión crítica P_c | 3208.2psia |
| Temperatura crítica T_c | 705.5°F |
| Peso molecular M_w | 18.03 |
| Relación de calores específicos | 1.33 |
| Válvula | Globo, flujo sobre el asiento |

De acuerdo a las condiciones del sistema la ecuación apropiada es:

$$\omega = 19.3 F_p C_v P_1 Y \sqrt{\frac{x M_w}{T_1 Z}}$$

De la tabla de factores típicos de x_T se escoge un de $x_T = 0.70$ ya que se trata de flujo sobre el asiento. Se calcula el F_k para ver si ocurre flujo estrangulado:

$$F_k = 1.33/1.40 = 0.95$$

La relación actual de caída de presión se calcula:

$$x = \frac{100 - 75}{100} = 0.25$$

El valor $F_k * x_T$ puede ser calculado:

$$0.95 * 0.70 = 0.665$$

Debido a que x es menor que el valor $F_k * x_T$, $0.25 < 0.665$, flujo estrangulado no esta ocurriendo por lo cual se usara el valor x para el resto de la ecuaciones.

El coeficiente de expansión es ahora calculado:

$$Y = 1 - \frac{x}{3 F_k x_T} = 1 - \frac{0.25}{3 * 0.665} = 0.874$$

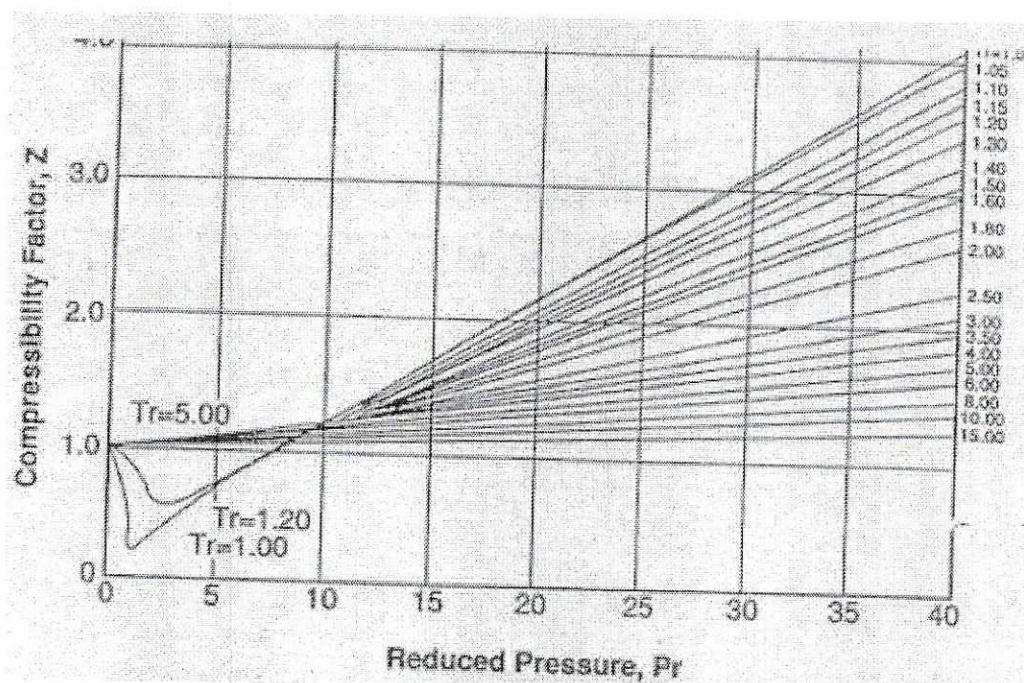
El factor de compresibilidad Z se puede encontrar calculando la presión y temperatura reducida.

$$P_r = \frac{P_1}{P_c} = \frac{112.2}{3208.2} = 0.0349$$

$$T_r = \frac{T_1}{T_c} = \frac{336.2 + 460}{705.5 + 460} = 0.683$$

Con la ayuda de la gráfica de factores de compresibilidad Z :

Gráfica No.4



(Skousen, 1998, 464)

$$Z = 1.0$$

$$\omega = 19.3 F_p C_v P_1 Y \sqrt{\frac{x M_w}{T_1 Z}}, \text{ se procede ahora a despejar la ecuación a } C_v:$$

$$C_v = \frac{\omega}{19.3 F_p P_1 Y \sqrt{\frac{x M_w}{T_1 Z}}}$$

$$C_v = 39.3$$

Para el resto de teñidoras:

Tabla No.7

Cv para resto de teñidoras

| Teñidora | Flujo | C _v |
|----------|----------|----------------|
| #1 | 5,600.86 | 39.3 |
| #2 | 6,252.12 | 43.8 |
| #3 | 3,116.09 | 21.9 |
| #4 | 3,255.65 | 22.8 |
| #5 | 2,675.68 | 18.8 |
| #6 | 1,146.37 | 8.0 |
| #7 | 810.18 | 5.7 |
| #8 | 933.10 | 6.5 |
| #9 | 757.83 | 5.3 |
| #10 | 441.10 | 3.1 |
| #11 | 502.31 | 3.5 |
| #12 | 463.67 | 3.3 |
| #13 | 470.29 | 3.3 |
| # 14 | 1,449.33 | 10.2 |
| # 15 | 1,512.34 | 10.6 |

Con el Cv calculado se puede proceder a dimensionar las válvulas usando la tabla de Cv proporcionado por el proveedor Hoffman Specialty:

Cuadro No.7

Valores de Cv

Cv (Kv) Values

| Body Code | Valve Size | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|---------|-------------|
| | NPT Valve Size, in. | | | | | | Flanged Valve Size, in. (mm) | | |
| | 1/2 NPT | 3/4 NPT | 1 NPT | 1 1/4 NPT | 1 1/2 NPT | 2 NPT | 2 1/2 (65) | 3 (88) | 4 (100) |
| | Cv (Kv) Values | | | | | | | | |
| 01 | 2.7 (2.3) | 5.7 (4.9) | 11 (9.5) | 16 (13.8) | 20 (17.3) | 25 (21.6) | | | |
| 02 & 02R | 2.7 (2.3) | 5.7 (4.9) | 11 (9.5) | 16 (13.3) | 20 (17.3) | 25 (21.6) | | | |
| 03 | | 4.3 (3.7) | 7.9 (6.8) | 13 (11.3) | 20 (17.3) | 25 (21.6) | | | |
| 05 & 05R | | 9.2 (8) | 13 (11.3) | 25 (21.6) | 29 (25.1) | 39 (33.7) | 70 (60.6) | 89 (77) | 100 (105.7) |
| 06 | 3.0 (2.6) | 5.5 (4.8) | 8.2 (7.1) | 12.5 (10.8) | 17.3 (15.0) | 31.8 (27.5) | 50 (43.2) | 67 (58) | 95 (82.2) |

(Hoffman Specialty General Catalog, 2002, 62)

Tabla No.8
Tamaño de válvula según Cv

| Teñidora | Cv | Body Code | Tamaño |
|----------|------|-----------|-----------------|
| #1 | 39.3 | 05 | 2" |
| #2 | 43.8 | 05 | 2" |
| #3 | 21.9 | 03 | 1 1/2" |
| #4 | 22.8 | 03 | 1 1/2" ó 2" |
| #5 | 18.8 | 02 | 1 1/4" ó 1 1/2" |
| #6 | 8.0 | 03 | 1" |
| #7 | 5.7 | 02 | 3/4" |
| #8 | 6.5 | 03 | 3/4" ó 1" |
| #9 | 5.3 | 02 | 3/4" |
| #10 | 3.1 | 02 | 1/2" ó 3/4" |
| #11 | 3.5 | 02 | 1/2" ó 3/4" |
| #12 | 3.3 | 02 | 1/2" ó 3/4" |
| #13 | 3.3 | 02 | 1/2" ó 3/4" |
| # 14 | 10.2 | 02 | 1" |
| # 15 | 10.6 | 02 | 1" |

Esta es una de las formas de dimensionar las válvulas, la siguiente forma se basa en el uso de tablas que relacionan el flujo másico de vapor requerido para calentar el agua y la caída de presión.

C. Segundo método: usando tablas de capacidad del proveedor

A continuación se muestran las tablas.

Cuadro No. 8

Capacidades de válvulas Body Code 01

Capacities – Steam Flow, lbs./hr. (kg/hr.) vs Pressure Drop psi (bar)

Body Code 01 Direct Acting, Single Seated Valves

| Size in. | | | 1/2 NPT | 3/4 NPT | 1 NPT | 1 1/4 NPT | 1 1/2 NPT | 2 NPT |
|--------------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Pressure psi (bar) | | | Steam Flow lbs./hr. (kg/hr.) | | | | | |
| Inlet | Outlet | Drop | | | | | | |
| 3 (2) | 2 (14) 1 (07) | 1 (07) 2 (14) | 33 (14) 45 (20) | 70 (31) 96 (43) | 134 (60) 185 (83) | 195 (88) 269 (122) | 244 (110) 336 (152) | 305 (138) 420 (190) |
| 5 (35) | 3 (21) 2 (14) | 2 (14) 3 (21) | 48 (21) 57 (25) | 101 (45) 121 (54) | 186 (86) 233 (105) | 285 (129) 339 (153) | 356 (161) 424 (192) | 445 (202) 530 (240) |
| 10 (7) | 3 (21) 2 (14) | 2 (14) 3 (21) | 54 (24) 74 (33) | 115 (52) 156 (70) | 222 (100) 300 (136) | 323 (146) 437 (198) | 404 (183) 546 (247) | 505 (229) 683 (310) |
| 15 (10) | 4 (28) 3 (21) | 3 (21) 4 (28) | 85 (38) 72 (32) | 181 (82) 204 (92) | 350 (158) 384 (178) | 509 (231) 572 (259) | 636 (286) 716 (325) | 795 (360) |
| 20 (14) | 4 (28) 3 (21) | 3 (21) 4 (28) | 90 (40) 118 (53) | 190 (86) 250 (113) | 366 (165) 482 (218) | 531 (241) 701 (318) | | |
| 25 (17) | 4 (28) 3 (21) | 3 (21) 4 (28) | 107 (48) 140 (63) | 225 (102) 295 (132) | 435 (197) 569 (258) | | | |
| 30 (21) | 5 (34) 4 (28) | 4 (28) 5 (34) | 114 (51) 151 (68) | 241 (109) 319 (144) | 465 (211) 615 (279) | | | |
| 40 (23) | 5 (34) 4 (28) | 4 (28) 5 (34) | 126 (56) 171 (77) | 270 (122) 361 (163) | | | | |
| 50 (25) | 6 (36) 5 (34) | 5 (34) 6 (36) | 190 (86) 242 (109) | 400 (181) 511 (231) | | | | |

(Hoffman Specialty General Catalog, 2002, 65)

Cuadro No. 9

Capacidades de válvulas Body Code 02

Body Code 02 Direct Acting, Single Seated Valves

| Size in. | | | 1/2 NPT | 3/4 NPT | 1 NPT | 1 1/4 NPT | 1 1/2 NPT | 2 NPT |
|--------------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Pressure psi (bar) | | | Steam Flow lbs./hr. (kg/hr.) | | | | | |
| Inlet | Outlet | Drop | | | | | | |
| 3 (2) | 2 (14) 1 (07) | 1 (07) 2 (14) | 33 (14) 45 (20) | 70 (31) 96 (43) | 134 (60) 185 (83) | 195 (88) 269 (122) | 244 (110) 336 (152) | 305 (138) 420 (190) |
| 5 (35) | 3 (21) 2 (14) | 2 (14) 3 (21) | 48 (21) 57 (25) | 101 (45) 121 (54) | 186 (86) 233 (105) | 285 (129) 339 (153) | 356 (161) 424 (192) | 445 (202) 530 (240) |
| 10 (7) | 3 (21) 2 (14) | 2 (14) 3 (21) | 54 (24) 74 (33) | 115 (52) 156 (70) | 222 (100) 300 (136) | 323 (146) 437 (198) | 404 (183) 546 (247) | 505 (229) 683 (310) |
| 15 (10) | 4 (28) 3 (21) | 3 (21) 4 (28) | 86 (39) 72 (32) | 181 (82) 204 (92) | 350 (158) 384 (178) | 509 (231) 572 (259) | 636 (286) 716 (325) | 795 (360) |
| 20 (14) | 4 (28) 3 (21) | 3 (21) 4 (28) | 90 (40) 118 (53) | 190 (86) 250 (113) | 366 (165) 482 (218) | 531 (241) 701 (318) | | |
| 25 (17) | 4 (28) 3 (21) | 3 (21) 4 (28) | 107 (48) 140 (63) | 225 (102) 295 (132) | 435 (197) 569 (258) | | | |
| 30 (21) | 5 (34) 4 (28) | 4 (28) 5 (34) | 114 (51) 151 (68) | 241 (109) 319 (144) | 465 (211) 615 (279) | | | |
| 40 (23) | 5 (34) 4 (28) | 4 (28) 5 (34) | 126 (56) 171 (77) | 270 (122) 361 (163) | | | | |
| 50 (25) | 6 (36) 5 (34) | 5 (34) 6 (36) | 190 (86) 242 (109) | 400 (181) 511 (231) | | | | |

Cuadro No. 9 (continuación)
 Capacidades de válvulas Body Code 02

| | | | | | | | | |
|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|--|--|--|--|
| 60 (4.1) | 50 (3.5) | 10 (0.9) | 206 (93) | 436 (197) | | | | |
| | 40 (2.8) | 20 (1.4) | 268 (121) | 565 (256) | | | | |
| | 30 (2.1) | 30 (2.1) | 297 (134) | 627 (284) | | | | |
| 70 (4.8) | 60 (4.2) | 10 (0.9) | 221 (100) | | | | | |
| | 50 (3.5) | 20 (1.4) | 292 (132) | | | | | |
| | 40 (2.8) | 30 (2.1) | 329 (149) | | | | | |
| | 30 (2.1) | 40 (2.8) | 343 (155) | | | | | |
| 80 (5.5) | 70 (4.9) | 10 (0.9) | 236 (107) | | | | | |
| | 60 (4.2) | 20 (1.4) | 313 (141) | | | | | |
| | 50 (3.5) | 30 (2.1) | 356 (161) | | | | | |
| | 40 (2.8) | 40 (2.8) | 378 (171) | | | | | |
| 90 (6.2) | 80 (5.5) | 10 (0.9) | 249 (112) | | | | | |
| | 70 (4.9) | 20 (1.4) | 332 (150) | | | | | |
| | 60 (4.2) | 30 (2.1) | 383 (173) | | | | | |
| | 50 (3.5) | 40 (2.8) | 413 (187) | | | | | |
| | 40 (2.8) | 50 (3.5) | 424 (192) | | | | | |
| 100 (6.9) | 90 (6.3) | 10 (0.9) | 262 (118) | | | | | |
| | 80 (5.5) | 20 (1.4) | 354 (160) | | | | | |
| | 70 (4.9) | 30 (2.1) | 406 (186) | | | | | |
| | 60 (4.2) | 40 (2.8) | 443 (200) | | | | | |
| | 50 (3.5) | 50 (3.5) | 462 (209) | | | | | |
| 125 (6.5) | 110 (7.6) | 15 (1.2) | 351 (159) | | | | | |
| | 100 (6.9) | 25 (1.7) | 436 (197) | | | | | |
| | 90 (6.3) | 35 (2.4) | 491 (222) | | | | | |
| | 80 (5.5) | 45 (3.1) | 529 (239) | | | | | |
| | 70 (4.9) | 55 (3.8) | 554 (251) | | | | | |
| | 60 (4.2) | 65 (4.4) | 564 (255) | | | | | |

(Hoffman Specialty General Catalog, 2002, 67)

Cuadro No. 10
 Capacidades de válvulas Body Code 03

Body Code 03 Direct Acting, Balanced Single Seated Valves (Steam Service Only)

| Size in. | | | ¾ NPT | 1 NPT | 1¼ NPT | 1½ NPT | 2 NPT |
|--------------------|---------|----------|------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Pressure psi (bar) | | | Steam Flow lbs./hr. (kg/hr.) | | | | |
| Inlet | Outlet | Drop | | | | | |
| 3 (2) | 2 (.14) | 1 (.07) | 52 (23) | 96 (43) | 159 (72) | 244 (110) | 395 (178) |
| | 3 (.21) | 2 (.14) | 72 (32) | 133 (60) | 216 (99) | 336 (152) | 470 (215) |
| 5 (3.5) | 2 (.14) | 3 (.21) | 77 (34) | 141 (63) | 231 (104) | 356 (161) | 445 (201) |
| | 4 (.28) | 3 (.21) | 91 (41) | 167 (75) | 276 (125) | 424 (192) | 530 (240) |
| 10 (7) | 6 (.42) | 3 (.21) | 87 (39) | 160 (72) | 263 (119) | 404 (183) | 505 (229) |
| | 4 (.28) | 4 (.28) | 117 (53) | 216 (97) | 355 (161) | 546 (247) | 683 (309) |
| 15 (10) | 6 (.42) | 4 (.28) | 138 (62) | 251 (113) | 413 (187) | 636 (288) | 795 (360) |
| | 6 (.42) | 5 (.35) | 115 (52) | 212 (96) | 348 (157) | 535 (243) | 670 (303) |
| 20 (14) | 6 (.42) | 5 (.35) | 154 (69) | 283 (128) | 465 (210) | 716 (324) | 895 (405) |
| | 6 (.42) | 6 (.42) | 176 (79) | 323 (146) | 532 (241) | 816 (371) | 1020 (462) |
| 25 (17) | 6 (.42) | 6 (.42) | 143 (64) | 262 (118) | 432 (195) | 664 (301) | 830 (376) |
| | 6 (.42) | 7 (.49) | 168 (75) | 345 (156) | 563 (258) | 876 (397) | 1100 (499) |
| 30 (21) | 6 (.42) | 7 (.49) | 213 (96) | 391 (177) | 644 (292) | 990 (449) | 1240 (562) |
| | 6 (.42) | 8 (.56) | 170 (77) | 312 (141) | 514 (233) | 790 (358) | 998 (449) |
| 40 (28) | 6 (.42) | 8 (.56) | 222 (100) | 408 (185) | 672 (304) | 1030 (467) | 1250 (565) |
| | 6 (.42) | 9 (.63) | 248 (112) | 455 (208) | 750 (340) | 1150 (521) | 1440 (653) |
| 50 (35) | 6 (.42) | 9 (.63) | 182 (82) | 334 (151) | 550 (249) | 846 (383) | 1060 (480) |
| | 6 (.42) | 10 (.70) | 240 (108) | 442 (200) | 727 (329) | 1120 (508) | 1400 (635) |
| 60 (42) | 6 (.42) | 10 (.70) | 272 (123) | 509 (228) | 823 (373) | 1270 (576) | 1580 (716) |
| | 6 (.42) | 11 (.77) | 203 (92) | 374 (169) | 615 (278) | 946 (429) | 1180 (535) |
| 70 (48) | 6 (.42) | 11 (.77) | 273 (123) | 501 (227) | 824 (373) | 1270 (576) | 1580 (716) |
| | 6 (.42) | 12 (.84) | 340 (154) | 624 (283) | 1030 (467) | 1580 (716) | 1980 (898) |
| 80 (56) | 6 (.42) | 12 (.84) | 302 (136) | 555 (251) | 913 (414) | 1400 (635) | 1760 (798) |
| | 6 (.42) | 13 (.91) | 386 (175) | 709 (321) | 1170 (530) | 1790 (811) | 2240 (1016) |
| 90 (63) | 6 (.42) | 13 (.91) | 416 (188) | 765 (347) | 1260 (571) | 1940 (879) | 2420 (1097) |
| | 6 (.42) | 14 (1.0) | 328 (148) | 503 (227) | 892 (405) | 1330 (603) | 1610 (735) |
| 100 (70) | 6 (.42) | 14 (1.0) | 427 (193) | 784 (355) | 1290 (585) | 1980 (898) | 2480 (1122) |
| | 6 (.42) | 15 (1.1) | 473 (214) | 869 (394) | 1430 (648) | 2200 (997) | 2760 (1247) |
| 125 (88) | 6 (.42) | 15 (1.1) | 353 (160) | 648 (293) | 1070 (485) | 1640 (743) | 2050 (929) |
| | 6 (.42) | 16 (1.2) | 464 (210) | 853 (386) | 1400 (635) | 2160 (979) | 2700 (1222) |
| 150 (103) | 6 (.42) | 16 (1.2) | 526 (239) | 964 (437) | 1590 (721) | 2440 (1106) | 3050 (1383) |
| | 6 (.42) | 17 (1.3) | 546 (247) | 1000 (453) | 1650 (748) | 2540 (1152) | 3180 (1442) |
| 175 (124) | 6 (.42) | 17 (1.3) | 375 (170) | 690 (312) | 1130 (512) | 1750 (793) | 2180 (988) |
| | 6 (.42) | 18 (1.4) | 498 (226) | 916 (415) | 1510 (684) | 2320 (1052) | 2900 (1315) |
| 200 (138) | 6 (.42) | 18 (1.4) | 568 (257) | 1040 (471) | 1720 (780) | 2640 (1197) | 3300 (1496) |
| | 6 (.42) | 19 (1.5) | 602 (273) | 1110 (503) | 1820 (828) | 2800 (1270) | 3500 (1587) |
| 250 (173) | 6 (.42) | 19 (1.5) | 397 (180) | 729 (330) | 1200 (544) | 1850 (839) | 2310 (1047) |
| | 6 (.42) | 20 (1.6) | 529 (239) | 972 (440) | 1600 (725) | 2460 (1115) | 3080 (1397) |
| 300 (21) | 6 (.42) | 20 (1.6) | 611 (277) | 1120 (508) | 1950 (883) | 2840 (1288) | 3550 (1610) |
| | 6 (.42) | 21 (1.7) | 658 (298) | 1210 (548) | 1990 (902) | 3060 (1388) | 3830 (1737) |
| 350 (25) | 6 (.42) | 21 (1.7) | 675 (306) | 1240 (562) | 2040 (925) | 3140 (1424) | 3930 (1782) |
| | 6 (.42) | 22 (1.8) | 418 (189) | 767 (347) | 1260 (571) | 1940 (879) | 2430 (1102) |
| 400 (28) | 6 (.42) | 22 (1.8) | 563 (255) | 1030 (467) | 1700 (771) | 2620 (1188) | 3280 (1487) |
| | 6 (.42) | 23 (1.9) | 649 (294) | 1190 (539) | 1950 (889) | 3020 (1369) | 3780 (1714) |
| 450 (32) | 6 (.42) | 23 (1.9) | 705 (319) | 1300 (589) | 2130 (966) | 3260 (1487) | 4100 (1859) |
| | 6 (.42) | 24 (2.0) | 735 (333) | 1350 (612) | 2220 (1006) | 3420 (1551) | 4280 (1941) |
| 500 (35) | 6 (.42) | 24 (2.0) | 559 (253) | 1030 (467) | 1690 (766) | 2600 (1179) | 3250 (1474) |
| | 6 (.42) | 25 (2.1) | 692 (313) | 1270 (576) | 2090 (948) | 3220 (1460) | 4030 (1828) |
| 550 (39) | 6 (.42) | 25 (2.1) | 763 (345) | 1440 (653) | 2370 (1075) | 3640 (1651) | 4550 (2063) |
| | 6 (.42) | 26 (2.2) | 843 (382) | 1550 (703) | 2550 (1158) | 3920 (1778) | 4900 (2222) |
| 600 (43) | 6 (.42) | 26 (2.2) | 882 (400) | 1620 (734) | 2670 (1211) | 4100 (1859) | 5130 (2325) |
| | 6 (.42) | 27 (2.3) | 899 (407) | 1650 (748) | 2720 (1233) | 4180 (1896) | 5230 (2372) |
| 650 (47) | 6 (.42) | 27 (2.3) | 692 (313) | 1270 (576) | 2090 (948) | 3220 (1460) | 4030 (1828) |
| | 6 (.42) | 28 (2.4) | 821 (372) | 1510 (684) | 2480 (1124) | 3820 (1732) | 4780 (2168) |
| 700 (51) | 6 (.42) | 28 (2.4) | 912 (413) | 1670 (757) | 2760 (1251) | 4240 (1923) | 5300 (2404) |
| | 6 (.42) | 29 (2.5) | 976 (442) | 1790 (811) | 2950 (1338) | 4540 (2059) | 5680 (2576) |
| 750 (55) | 6 (.42) | 29 (2.5) | 1020 (462) | 1880 (852) | 3090 (1401) | 4760 (2159) | 5950 (2698) |
| | 6 (.42) | 30 (2.6) | 1050 (476) | 1930 (875) | 3170 (1437) | 4880 (2213) | 6100 (2766) |
| 800 (58) | 6 (.42) | 30 (2.6) | 1060 (480) | 1950 (884) | 3210 (1458) | 4940 (2240) | 6180 (2803) |
| | 6 (.42) | 31 (2.7) | 830 (376) | 1520 (689) | 2510 (1138) | 3860 (1750) | 4800 (2180) |
| 850 (62) | 6 (.42) | 31 (2.7) | 1040 (471) | 1910 (866) | 3150 (1428) | 4840 (2195) | 6000 (2720) |
| | 6 (.42) | 32 (2.8) | 1160 (526) | 2130 (966) | 3510 (1592) | 5400 (2449) | 6700 (3040) |
| 900 (66) | 6 (.42) | 32 (2.8) | 1220 (553) | 2240 (1016) | 3660 (1669) | 5660 (2567) | 7000 (3160) |
| | 6 (.42) | 33 (2.9) | 1230 (557) | 2250 (1020) | 3710 (1682) | 5700 (2585) | 7100 (3200) |
| 950 (70) | 6 (.42) | 33 (2.9) | 959 (435) | 1760 (798) | 2900 (1315) | 4460 (2023) | 5500 (2490) |
| | 6 (.42) | 34 (3.0) | 1170 (530) | 2150 (975) | 3540 (1605) | 5440 (2467) | 6800 (3080) |
| 1000 (74) | 6 (.42) | 34 (3.0) | 1300 (589) | 2390 (1084) | 3930 (1782) | 6040 (2739) | 7500 (3400) |
| | 6 (.42) | 35 (3.1) | 1370 (621) | 2510 (1138) | 4130 (1873) | 6360 (2884) | 7900 (3560) |
| 1050 (78) | 6 (.42) | 35 (3.1) | 1380 (625) | 2540 (1152) | 4170 (1891) | 6420 (2912) | 8000 (3600) |
| | 6 (.42) | 36 (3.2) | 1220 (553) | 1950 (884) | 3210 (1458) | 4940 (2240) | 6180 (2803) |
| 1100 (82) | 6 (.42) | 36 (3.2) | 1430 (648) | 2600 (1179) | 4300 (1950) | 6700 (3040) | 8300 (3760) |
| | 6 (.42) | 37 (3.3) | 1570 (712) | 2900 (1315) | 4800 (2180) | 7500 (3400) | 9200 (4160) |
| 1150 (86) | 6 (.42) | 37 (3.3) | 1650 (752) | 3100 (1401) | 5100 (2300) | 8000 (3600) | 9800 (4440) |
| | 6 (.42) | 38 (3.4) | 1700 (771) | 3200 (1450) | 5300 (2390) | 8400 (3800) | 10200 (4620) |
| 1200 (90) | 6 (.42) | 38 (3.4) | 1710 (775) | 3240 (1468) | 5340 (2418) | 8460 (3838) | 10300 (4660) |

(Hoffman Specialty General Catalog, 2002, 69)

Cuadro No.11
Capacidades de válvulas Body Code 05

Body Code 05 Direct Acting, Balanced Double Seated Valves

| Size in. | | | 3/4 NPT | 1 NPT | 1 1/4 NPT | 1 1/2 NPT | 2 NPT | 2 1/2 (65) | 3 (88) | 4 (100) |
|--------------------|------------|------------|------------------------------|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Pressure psi (bar) | | | Steam Flow lbs./hr. (kg/hr.) | | | | | | | |
| Inlet | Outlet | Drop | | | | | | | | |
| 3 (1.2) | 2 (14) | 1 (0.7) | 112 (50) | 156 (72) | 305 (138) | 354 (160) | 475 (215) | 454 (207) | 1966 (894) | 2520 (997) |
| | 1 (0.7) | 2 (14) | 165 (75) | 218 (98) | 429 (195) | 487 (220) | 656 (297) | 1180 (536) | 1500 (680) | 3020 (1369) |
| 5 (1.5) | 3 (2.1) | 2 (14) | 164 (74) | 231 (104) | 445 (201) | 516 (234) | 694 (314) | 1250 (567) | 1590 (721) | 3200 (1451) |
| | 2 (14) | 3 (2.1) | 196 (88) | 276 (125) | 530 (240) | 615 (278) | 827 (375) | 1460 (661) | 1880 (852) | 3820 (1733) |
| 10 (2.7) | 8 (5.6) | 2 (14) | 196 (88) | 263 (119) | 505 (229) | 586 (265) | 795 (359) | 1410 (639) | 1820 (831) | 3640 (1651) |
| | 4 (2.8) | 4 (2.8) | 253 (113) | 426 (191) | 823 (374) | 939 (426) | 1289 (585) | 1510 (686) | 3130 (1420) | 4910 (2227) |
| 15 (4.0) | 12 (8.0) | 3 (2.1) | 247 (112) | 348 (157) | 670 (303) | 777 (352) | 1050 (476) | 1590 (723) | 2020 (918) | 4040 (1833) |
| | 6 (4.2) | 6 (4.2) | 329 (149) | 495 (225) | 985 (449) | 1040 (471) | 1480 (673) | 2010 (913) | 2540 (1146) | 4880 (2209) |
| 20 (5.1) | 16 (8.2) | 4 (2.8) | 376 (170) | 532 (241) | 1020 (462) | 1190 (538) | 1620 (735) | 2260 (1027) | 2900 (1319) | 5440 (2468) |
| | 8 (5.6) | 8 (5.6) | 495 (225) | 644 (292) | 1240 (562) | 1440 (653) | 1930 (875) | 2470 (1120) | 3120 (1419) | 5960 (2702) |
| 25 (6.1) | 20 (9.1) | 5 (3.0) | 363 (164) | 514 (233) | 988 (448) | 1150 (521) | 1540 (696) | 2170 (985) | 2820 (1280) | 5310 (2405) |
| | 10 (2.8) | 10 (2.8) | 475 (215) | 672 (304) | 1250 (565) | 1500 (680) | 2020 (916) | 2620 (1192) | 3380 (1530) | 6310 (2863) |
| 30 (7.6) | 25 (11.0) | 6 (4.2) | 531 (243) | 780 (340) | 1440 (653) | 1670 (752) | 2250 (1020) | 3040 (1382) | 3820 (1733) | 7260 (3291) |
| | 15 (4.0) | 15 (4.0) | 689 (312) | 956 (434) | 1850 (842) | 2160 (977) | 2900 (1324) | 3700 (1685) | 4980 (2259) | 9310 (4233) |
| 40 (9.1) | 30 (13.0) | 8 (5.6) | 915 (416) | 1271 (577) | 2460 (1116) | 2860 (1298) | 3900 (1769) | 5000 (2270) | 6300 (2858) | 10100 (4581) |
| | 15 (4.0) | 15 (4.0) | 1179 (536) | 1623 (739) | 3150 (1429) | 3680 (1668) | 5000 (2270) | 6300 (2858) | 8000 (3630) | 14200 (6441) |
| 50 (11.0) | 40 (18.0) | 10 (7.0) | 1287 (585) | 1788 (808) | 3450 (1565) | 4000 (1818) | 5300 (2405) | 6700 (3041) | 8500 (3858) | 12900 (5851) |
| | 20 (9.1) | 20 (9.1) | 1644 (746) | 2280 (1034) | 4400 (1995) | 5100 (2317) | 6700 (3041) | 8500 (3858) | 10800 (4881) | 16100 (7302) |
| 60 (13.0) | 50 (22.0) | 12 (8.2) | 1810 (824) | 2520 (1143) | 4800 (2180) | 5600 (2538) | 7300 (3319) | 9100 (4130) | 11400 (5151) | 17100 (7733) |
| | 25 (11.0) | 25 (11.0) | 2370 (1078) | 3240 (1471) | 6200 (2817) | 7200 (3258) | 9300 (4220) | 11600 (5241) | 14500 (6581) | 21600 (9792) |
| 70 (15.0) | 60 (27.0) | 15 (10.5) | 2110 (958) | 2910 (1324) | 5600 (2538) | 6500 (2968) | 8400 (3819) | 10400 (4741) | 13000 (5911) | 19400 (8792) |
| | 30 (13.0) | 30 (13.0) | 2770 (1256) | 3780 (1719) | 7300 (3319) | 8400 (3819) | 10800 (4881) | 13400 (6041) | 16800 (7611) | 24800 (11202) |
| 80 (18.0) | 70 (30.0) | 18 (12.8) | 2410 (1093) | 3300 (1500) | 6400 (2917) | 7400 (3358) | 9600 (4349) | 11800 (5351) | 14800 (6711) | 22200 (10062) |
| | 40 (18.0) | 40 (18.0) | 3170 (1441) | 4290 (1945) | 8300 (3767) | 9600 (4349) | 12400 (5611) | 15400 (6971) | 19400 (8792) | 28400 (12862) |
| 100 (22.0) | 80 (36.0) | 20 (14.0) | 2810 (1278) | 3810 (1729) | 7400 (3358) | 8500 (3858) | 11000 (4981) | 13600 (6141) | 17200 (7791) | 25200 (11452) |
| | 50 (22.0) | 50 (22.0) | 3670 (1666) | 4920 (2234) | 9600 (4349) | 11000 (4981) | 14000 (6341) | 17400 (7871) | 22000 (9931) | 32000 (14512) |
| 125 (27.0) | 90 (40.0) | 25 (17.5) | 3210 (1458) | 4320 (1965) | 8500 (3858) | 9800 (4449) | 12600 (5711) | 15600 (7071) | 19600 (8871) | 28600 (12962) |
| | 60 (27.0) | 60 (27.0) | 4170 (1893) | 5520 (2500) | 10800 (4881) | 12400 (5611) | 15800 (7171) | 19800 (8971) | 25200 (11452) | 36200 (16452) |
| 150 (33.0) | 100 (44.0) | 30 (21.0) | 3610 (1648) | 4830 (2190) | 9600 (4349) | 11000 (4981) | 14000 (6341) | 17400 (7871) | 22000 (9931) | 32000 (14512) |
| | 70 (33.0) | 70 (33.0) | 4770 (2178) | 6330 (2874) | 12400 (5611) | 14200 (6449) | 18200 (8291) | 22600 (10271) | 28200 (12792) | 40200 (18262) |
| 175 (40.0) | 110 (49.0) | 35 (24.5) | 4010 (1824) | 5340 (2424) | 10400 (4741) | 12000 (5471) | 15400 (6971) | 19400 (8792) | 24400 (11042) | 35400 (16062) |
| | 80 (40.0) | 80 (40.0) | 5170 (2341) | 6840 (3100) | 13400 (6041) | 15400 (6971) | 19800 (8971) | 24800 (11202) | 30800 (13962) | 43800 (19862) |
| 200 (45.0) | 120 (54.0) | 40 (27.0) | 4410 (1995) | 5840 (2640) | 11400 (5151) | 13200 (5971) | 17000 (7711) | 21400 (9711) | 26800 (12162) | 39800 (18062) |
| | 90 (45.0) | 90 (45.0) | 5770 (2624) | 7620 (3440) | 14400 (6531) | 16600 (7521) | 21400 (9711) | 26800 (12162) | 33800 (15362) | 48800 (22162) |
| 250 (55.0) | 140 (63.0) | 45 (31.5) | 4810 (2184) | 6340 (2874) | 12400 (5611) | 14400 (6531) | 18600 (8471) | 23400 (10641) | 29400 (13362) | 42400 (19262) |
| | 100 (55.0) | 100 (55.0) | 6170 (2801) | 8100 (3684) | 15400 (6961) | 17800 (8071) | 23000 (10471) | 28800 (13071) | 36800 (16662) | 51800 (23562) |
| 300 (65.0) | 160 (73.0) | 50 (34.5) | 5210 (2374) | 6840 (3100) | 13400 (6041) | 15600 (7071) | 20000 (9071) | 25400 (11562) | 31800 (14462) | 45800 (20862) |
| | 120 (65.0) | 120 (65.0) | 6570 (3001) | 8700 (3940) | 16400 (7421) | 19000 (8631) | 24400 (11071) | 30400 (13862) | 38400 (17362) | 53400 (24262) |

(Hoffman Specialty General Catalog, 2002, 71)

Al utilizar estas tablas se dimensiona las válvulas de la siguiente manera:

Tabla No.9

Tamaño de válvulas según segundo método

| Teñidora | Body | |
|----------|------|--------|
| | Code | Tamaño |
| #1 | 05 | 2 " |
| #2 | 05 | 2 " |
| #3 | 03 | 1 ½ " |
| #4 | 03 | 1 ½ " |
| #5 | 03 | 1 ½ " |
| #6 | 03 | 1" |
| #7 | 03 | 1" |
| #8 | 03 | 1" |
| #9 | 03 | 1" |
| #10 | 02 | ½" |
| #11 | 03 | ¾" |
| #12 | 03 | ¾" |
| #13 | 03 | ¾" |
| # 14 | 03 | 1 ¼" |
| # 15 | 03 | 1 ¼" |

Tabla No.10

Comparación de los 2 métodos

| Teñidora | Usando flujo y tablas | | Usando Cv | |
|----------|-----------------------|--------|-----------|-----------------|
| | Body Code | Tamaño | Body Code | Tamaño |
| #1 | 05 | 2 " | 05 | 2" |
| #2 | 05 | 2 " | 05 | 2" |
| #3 | 03 | 1 ½ " | 03 | 1 1/2" |
| #4 | 03 | 1 ½ " | 03 | 1 1/2" ó 2" |
| #5 | 03 | 1 ½ " | 02 | 1 1/4" ó 1 1/2" |
| #6 | 03 | 1" | 03 | 1" |
| #7 | 03 | 1" | 02 | ¾" |
| #8 | 03 | 1" | 03 | ¾" ó 1" |
| #9 | 03 | 1" | 02 | ¾" |
| #10 | 02 | ½" | 02 | 1/2" ó ¾" |
| #11 | 03 | ¾" | 02 | 1/2" ó ¾" |
| #12 | 03 | ¾" | 02 | 1/2" ó ¾" |
| #13 | 03 | ¾" | 02 | 1/2" ó ¾" |
| # 14 | 03 | 1 ¼" | 02 | 1" |
| # 15 | 03 | 1 ¼" | 02 | 1" |

La tabla anterior demuestra que los dos métodos nos dan los mismos resultados.

D. Tercer método: Calculando el C_v usando la ecuación de ITT Hoffman

Ahora se hará el cálculo con la siguiente ecuación que es presentada en el catálogo de ITT Hoffman:

Cuando $P_2 > 0.5 P_1$:

$$C_v = \frac{\text{lbs / hr}}{2.1\sqrt{\Delta P * (P_1 + P_2)}}$$

Siendo $P_1 = 100\text{psig}$ y $P_2 = 75\text{psig}$ $75 > 50$

Estos son los resultados:

Tabla No.11

Resultados de C_v según el tercer método

| Teñidora | Flujo | C_v |
|----------|----------|-------|
| #1 | 5,600.86 | 41.10 |
| #2 | 6,252.12 | 45.88 |
| #3 | 3,116.09 | 22.87 |
| #4 | 3,255.65 | 23.89 |
| #5 | 2,675.68 | 19.64 |
| #6 | 1,146.37 | 8.41 |
| #7 | 810.18 | 5.95 |
| #8 | 933.10 | 6.85 |
| #9 | 757.83 | 5.56 |
| #10 | 441.10 | 3.24 |
| #11 | 502.31 | 3.69 |
| #12 | 463.67 | 3.40 |
| #13 | 470.29 | 3.45 |
| # 14 | 1,449.33 | 10.64 |
| # 15 | 1,512.34 | 11.10 |

Así quedarían las dimensiones de las válvulas usando las tablas de C_v usado por las tablas del catálogo del proveedor.

Tabla No.12

Tamaño de válvulas según tercer método

| Teñidora | Cv | Body Code | Tamaño |
|----------|-------|-----------|-------------|
| #1 | 41.10 | 05 | 2" |
| #2 | 45.88 | 05 | 2" |
| #3 | 22.87 | 05 | 1 1/4" |
| #4 | 23.89 | 05 | 1 1/4" |
| #5 | 19.64 | 03 | 1 1/2" |
| #6 | 8.41 | 03 | 1" |
| #7 | 5.95 | 02 | 3/4" |
| #8 | 6.85 | 03 | 3/4" ó 1" |
| #9 | 5.56 | 02 | 3/4" |
| #10 | 3.24 | 02 | 1/2" ó 3/4" |
| #11 | 3.69 | 02 | 1/2" ó 3/4" |
| #12 | 3.40 | 02 | 1/2" ó 3/4" |
| #13 | 3.45 | 02 | 1/2" ó 3/4" |
| # 14 | 10.64 | 02 | 1" |
| # 15 | 11.10 | 02 | 1" |

Tabla No.13

Comparación de los tres métodos

| Teñidora | Usando flujo y tablas | | Usando Cv de Skousen | | Usando Cv de Hoffman | |
|----------|-----------------------|---------|----------------------|------------------|----------------------|-------------|
| | Body Code | Tamaño | Body Code | Tamaño | Body Code | Tamaño |
| #1 | 05 | 2 " | 05 | 2" | 05 | 2" |
| #2 | 05 | 2 " | 05 | 2" | 05 | 2" |
| #3 | 03 | 1 1/2 " | 03 | 1 1/2 " | 05 | 1 1/4" |
| #4 | 03 | 1 1/2 " | 03 | 1 1/2 " ó 2" | 05 | 1 1/4" |
| #5 | 03 | 1 1/2 " | 02 | 1 1/4" ó 1 1/2 " | 03 | 1 1/2 " |
| #6 | 03 | 1" | 03 | 1" | 03 | 1" |
| #7 | 03 | 1" | 02 | 3/4" | 02 | 3/4" |
| #8 | 03 | 1" | 03 | 3/4" ó 1" | 03 | 3/4" ó 1" |
| #9 | 03 | 1" | 02 | 3/4" | 02 | 3/4" |
| #10 | 02 | 1/2" | 02 | 1/2" ó 3/4" | 02 | 1/2" ó 3/4" |
| #11 | 03 | 3/4" | 02 | 1/2" ó 3/4" | 02 | 1/2" ó 3/4" |
| #12 | 03 | 3/4" | 02 | 1/2" ó 3/4" | 02 | 1/2" ó 3/4" |
| #13 | 03 | 3/4" | 02 | 1/2" ó 3/4" | 02 | 1/2" ó 3/4" |
| # 14 | 03 | 1 1/4" | 02 | 1" | 02 | 1" |
| # 15 | 03 | 1 1/4" | 02 | 1" | 02 | 1" |

VI. REALIZACIÓN DE LAS COTIZACIONES PRESENTADAS AL CLIENTE

Debido al alto coste de las válvulas el cliente solicitó la cotización de las primeras cuatro válvulas para los primeros cuatro baños. La cotización incluye los precios a los cuales ITT Hoffman Specialty cotizó las válvulas, la ganancia para el proveedor local y los costos de importación. La cotización se basó en el cálculo de las válvulas usando el método de flujo de vapor contra tablas de capacidad, es decir el segundo método. Estos son los resultados y la cotización presentada:

Cuadro No.12

Precios de lista modelo 2" 05

| Modelo | Precio de lista |
|-----------|-----------------|
| 2" 05 | \$1,937.00 |
| Termopozo | \$423.00 |
| Total ITT | \$2,360.00 |

Cuadro No.13

Cálculo de la cotización del modelo 2" 05

| | | | |
|---------------------|--|---------------------|------------|
| 1. Fábrica | | | |
| 1.0. | Precio de lista | | \$2,360.00 |
| 1.1. | Accesorios | | \$0.00 |
| 1.2. | Precio de lista + Accesorios | | \$2,360.00 |
| 1.3. | Descuento (%) | Descuento 0.62 | \$1,463.20 |
| 1.4. | Costo neto ex-fábrica | | \$907.18 |
| 1.4. | Manejo/Empaque en fábrica | 3.00% | \$27.22 |
| 1.5. | Costo ex-fábrica | | \$923.70 |
| 1.6. | Utilidad sobre costo neto ex-fábrica (%) | 0% | \$0.00 |
| 1.7. | Precio de venta ex-fábrica | | \$923.70 |
| 2. Gastos en origen | | | |
| 2.0. | Flete interno a Miami (US\$/lb) | 0.40 | \$16.00 |
| 2.1. | Costo puesto en embarcador | | \$939.70 |
| 2.2. | Manejo del embarcador | Hazardous | \$50.00 |
| 2.3. | Gastos de documentación normal | | \$10.00 |
| 2.4. | Gastos de documentación especial | | \$0.00 |
| 2.5. | Legalización consular | | \$0.00 |
| 2.6. | Flete marítimo a: | Ciudad de Guatemala | \$3.87 |

| | | | |
|-------------------|--------------------------------------|--------|------------|
| 2.7. | Costo C & F | | \$1,019.57 |
| 2.8. | Seguro (%) Sobre 110% Costo C & F | 0.70% | \$7.14 |
| 2.9. | Suma gastos en origen | | \$87.00 |
| 2.10. | Costo CIF | | \$1,026.71 |
| 2.11. | Utilidad sobre costo neto ex-fábrica | 0% | \$0.00 |
| 2.12. | Precio de venta CIF | | \$1,026.71 |
| 3. Gastos locales | | | |
| 3.0. | Derechos arancelarios e impuestos | 0% | \$0.00 |
| 3.1. | Agente aduana, almacenaje | 2% | \$20.53 |
| 3.2. | Gastos trámite aduanal | Q. 350 | \$43.75 |
| 3.3. | Flete a nuestro almacén | | \$0.00 |
| 3.4. | Otros gastos | Dhl | \$0.00 |
| 3.5. | Sub-total gastos locales | | \$64.28 |
| 3.5. | Costo PNA | | \$1,090.99 |
| 3.6. | Utilidad sobre costo neto ex-fábrica | 0.35 | \$381.85 |
| 3.7. | Precio neto PNA | | \$1,472.84 |
| 3.8. | IVA | 12% | \$176.74 |
| 3.9. | Precio de venta PNA | | \$1,745.15 |
| 3.10. | Flete a almacén cliente | | \$0.00 |
| 3.11. | Arranque | | \$0.00 |
| 3.12. | Precio de venta \$ | | \$1,745.15 |
| 3.13. | Precio de venta Q. | 8.25 | Q14,397.49 |

Cuadro No.13

Precios de lista modelo ½" 03

| Modelo | Precio de lista |
|-----------|-----------------|
| 1 1/2" | \$1,343.00 |
| Termopozo | \$423.00 |
| Total ITT | \$1,766.00 |

Cuadro No.14

Cálculo de la cotización del modelo ½" 03

| | | |
|------------|------------------------------|------------|
| 1. Fábrica | | |
| 1.0. | Precio de lista | \$1,766.00 |
| 1.1. | Accesorios | \$0.00 |
| 1.2. | Precio de lista + Accesorios | \$1,766.00 |

| | | | |
|---------------------|--|---------------------|------------|
| 1.3. | Descuento (%) | 0.62 | \$1,094.92 |
| 1.4. | Costo neto ex-fábrica | | \$671.08 |
| 1.4. | Manejo/Empaque en fábrica | 3.00% | \$20.13 |
| 1.5. | Costo ex-fábrica | | \$691.21 |
| 1.6. | Utilidad sobre costo neto ex-fábrica (%) | | \$0.00 |
| 1.7. | Precio de venta ex-fábrica | | \$691.21 |
| 2. Gastos en origen | | | |
| 2.0. | Flete interno a Miami (US\$/lb) | 0.40 | \$14.00 |
| 2.1. | Costo puesto en embarcador | | \$705.21 |
| 2.2. | Manejo del embarcador | Hazardous | \$50.00 |
| 2.3. | Gastos de documentación normal | | \$10.00 |
| 2.4. | Gastos de documentación especial | | \$0.00 |
| 2.5. | Legalización consular | | \$0.00 |
| 2.6. | Flete marítimo a: | Ciudad de Guatemala | \$3.87 |
| 2.7. | Costo C & F | | \$769.08 |
| 2.8. | Seguro (%) Sobre 110% Costo C & F | 0.70% | \$5.92 |
| 2.9. | Suma gastos en origen | | \$83.79 |
| 2.10. | Costo CIF | | \$775.00 |
| 2.11. | Utilidad sobre costo neto ex-fábrica | 0% | \$0.00 |
| 2.12. | Precio de venta CIF | | \$775.00 |
| 3. Gastos locales | | | |
| 3.0. | Derechos arancelarios e impuestos | 0% | \$0.00 |
| 3.1. | Agente aduana, almacenaje | 2% | \$15.50 |
| 3.2. | Gastos trámite aduanal | Q. 250 | \$31.25 |
| 3.3. | Flete a nuestro almacén | | \$0.00 |
| 3.4. | Otros gastos | Dhl | \$0.00 |
| 3.5. | Sub-total gastos locales | | \$46.75 |
| 3.5. | Costo PNA | | \$821.75 |
| 3.6. | Utilidad sobre costo neto ex-fábrica | 0.35 | \$392.32 |
| 3.7. | Precio neto PNA | | \$1,214.07 |
| 3.8. | IVA | 12% | \$145.69 |
| 3.9. | Precio de venta PNA | | \$1,359.76 |
| 3.10. | Flete a almacén cliente | | \$0.00 |
| 3.11. | Arranque | | \$0.00 |
| 3.12. | Precio de venta \$ | | \$1,359.76 |
| 3.13. | Precio de venta Q. | 8.25 | Q11,218.10 |

De acuerdo a su solicitud, ésta sería la cotización de las válvulas reguladoras de temperatura marca ITT-Hoffman para regular temperaturas del rango 160-200°F para los baños No. 1,2,3 y 4 con su termopozo de acero inoxidable.

| Cant. | Descripción | P. Unit. | P.Total |
|--------------|--|-------------|--------------------|
| 1 | Válvula reguladora de vapor de 2" para el baño No. 1 | \$ 1,745.00 | \$ 1,745.00 |
| 1 | Válvula reguladora de vapor de 2" para el baño No. 2 | \$ 1,745.00 | \$ 1,745.00 |
| 1 | Válvula reguladora de vapor de 1 ½ "para el baño No. 3 | \$ 1,360.00 | \$ 1,360.00 |
| 1 | Válvula reguladora de vapor de 1 ½ "para el baño No. 4 | \$ 1,360.00 | \$ 1,360.00 |
| Total | | | \$ 6,210.00 |

VIII. ANÁLISIS DE LA SELECCIÓN FINAL DE LAS VÁLVULAS REGULADORAS DE TEMPERATURA

Como se pudo apreciar en la selección y dimensionamiento de las válvulas, el tipo de válvulas que el proveedor tiene a disposición son de tipo globo ya que como se vio en la sección de antecedentes, las válvulas del tipo “cerrando hacia abajo”, que son tipo globo, son las que se aplican en estos casos, ya que son recomendadas para estrangulación o regulación de circulación, accionamiento frecuente y cuando es aceptable cierta resistencia a la circulación. Además, la estrangulación es eficiente con estiramiento o erosión mínimos del disco o asiento, lo cual alarga la vida útil de la válvula y baja los costos de mantenimiento.

De igual forma este tipo de válvulas pueden funcionar como tipo “On-Off”. Además, las válvulas seleccionadas entran en la clasificación de servicio general ya que su aplicación contempla rangos bajos de presión y temperatura, además de no tratar con algún tipo de fluido corrosivo ya que en este caso estarán tratando con vapor de agua y condensado. Las válvulas seleccionadas son parte de la serie 1140 de los modelos que ofrece ITT Hoffman Specialty. Éstas vienen en tamaños desde ½” hasta 2” con rosca y de 2 ½” hasta 4” para bridas. Su actuador viene equipado para regular temperaturas desde 40°F (4.4°C) hasta 220°F (104°C). El termopozo, que es el elemento que va dentro del tanque de agua caliente recubriendo al bulbo, viene en dos distintos materiales, cobre y acero inoxidable. En este caso se escogió usar acero inoxidable por tener buenas propiedades contra la oxidación y corrosión por tratarse de un proceso en el cual el agua y el termopozo entran en contacto directo con la tela y si el termopozo fuera de cobre podría llegar a oxidarse a la larga y podría manchar las telas. El capilar que une al bulbo con el actuador de la válvula viene en largo de 10” que es un largo suficiente ya que la válvula no se encuentra a más de 10” de distancia del baño o tanque. La temperatura máxima especificada por el proveedor a la cual el cuerpo de la válvula puede estar expuesto es de 406°F (208°C) que queda muy sobrada para la temperatura a la cual la válvula va a estar expuesta por lo que esto no es ningún problema. El cuerpo de la válvula es de cobre, por lo cual no hay ningún problema ya que la válvula no estará manejando ningún fluido corrosivo ni altas temperaturas. Los asientos de las válvulas también son de cobre.

El tipo de rosca para las válvulas seleccionadas es de tipo rosca ya que se trata de válvulas bastante pequeñas con temperaturas y presiones bajas, pero hay que recordar que este tipo de conexiones sufren de goteo por lo cual hay que colocar un sellante para evitar el goteo.

Analizando ahora el tamaño de las válvulas en el proceso de dimensionamiento hay que ver que se siguieron tres distintas formas de dimensionamiento. Lo primero que se hizo fue calcular el flujo másico necesario para cada baño de teñido para aumentar la temperatura del agua. Algo muy importante en este paso fue el tiempo requerido por la planta para aumentar la temperatura del agua. Si el tiempo requerido para llegar a la temperatura deseada hubiese sido menor, el flujo másico de vapor hubiese sido mayor y por lo tanto las válvulas hubiesen tenido que ser más grandes y por lo tanto más caras. Si, por otro lado, el tiempo requerido para calentar el agua hubiese sido mayor, el flujo másico necesario para aumentar la temperatura hubiese sido menor y por lo tanto el tamaño necesario de las válvulas hubiera sido menor y por ende estas serían más baratas. Otra cosa importante es notar que mientras más grande sea el baño más grande debe ser la válvula ya que el flujo másico es proporcional a la cantidad de agua a calentar y por otro lado inversamente proporcional al tiempo requerido para calentar el agua. Estas dos variables son importantes a la hora de dimensionar las válvulas ya que el tiempo es algo que uno decide y tendrá efectos directos en el tamaño de la válvula. Además, si el tamaño del serpentín aumenta, aumenta el área de transferencia de calor y, por lo tanto, disminuye el tiempo de calentamiento del agua. Sin embargo, las ecuaciones utilizadas no toman en cuenta el tamaño del serpentín y por ende tampoco el área de transferencia de calor. Lamentablemente no se pudo obtener el tamaño del serpentín en los baños de teñido ya que estos se encuentran operando y el acceso es muy difícil, además no se tenían las especificaciones de los baños de teñido con respecto al tamaño del serpentín y el diámetro de éste.

La primer forma por la cual se dimensionó las válvulas fue usando el C_v o coeficiente de flujo con la ecuación de Skousen. Para poder hacer uso del coeficiente primero hubo que calcularlo. Esta manera me parece muy precisa ya

que para calcular el C_v se integraron bastantes variables que son tipo de gas, temperatura del fluido, presión aguas arriba, presión aguas abajo, caudal, presión y temperaturas críticas y tipo de válvulas a usar. Ya con el C_v calculado se uso la tabla de C_v del catálogo del proveedor y de allí se selecciono las válvulas. Hubo algunos casos en el que se pudo el C_v daba la opción a escoger dos tamaños de válvula.

La segunda forma fue utilizar el flujo de vapor necesario para calentar el agua con las tablas de capacidad propuestas por el proveedor. Esta es la forma más rápida de dimensionar las válvulas y se puede decir que es bastante preciso ya que las tablas están hechas mediante datos experimentales hechos por el proveedor y al comparar los resultados con el primer método, se puede ver que son los mismos. Esto respalda los cálculos realizados en el primer método. Las tablas relacionan la presión de entrada y de salida y el flujo.

El último método fue utilizar la ecuación de C_v propuesta por el catálogo del proveedor, pero este método dio casi los mismos resultados. A pesar de ser uno de los métodos más rápidos se puede ver que los resultados son igual de precisos.

Muchas veces se comete el error de dimensionar las válvulas sólo basándose en el tamaño de la tubería de vapor. En este caso la tubería tiene un diámetro de 3" por lo cual todas las válvulas hubiesen sido de 3". Esto hubiera sido desastroso ya que en ese caso no se hubiera tomado en cuenta el flujo necesario de vapor que estaría pasando por la válvula. En algunos baños la válvula hubiera estado sobredimensionada y en otros baños subdimensionada causando gastos innecesarios y no cumpliendo con las necesidades del cliente.

La instalación de la válvula se puede ver en las fotos en el apéndice. Para instalar las válvulas se procedió haciendo un by-pass. Este "by-pass" es necesario ya que en dado caso la válvula falle o haya que hacerle reparaciones y la producción no pueda pararse, se utiliza el "by-pass". Para activar el "by-pass" se hace uso de dos válvulas de bola instaladas una antes y otra después de la reguladora de temperatura. De esta forma el flujo ya no pasa por la reguladora sino que pasa a través de una válvula de globo pero sin actuador que

es accionada manualmente como se regulaba el flujo anteriormente, pero de la manera correcta ya que anteriormente se usaban válvulas de bola para regular el flujo. Como se leyo anteriormente este tipo de válvulas no son recomendadas para regulación de flujo sino que solo para parar o permitir el flujo total. Además se puede ver el filtro en Y antes de la válvula reguladora de temperatura. Este filtro es necesario ya que su función es eliminar sólidos que transporten el flujo que puedan dañar el asiento de las válvulas. Se recomienda también instalar un filtro en Y antes de la instalación de las válvulas en dado caso se accione el "by-pass" y sea necesario utilizar la válvula de bola manual. En las fotos también se puede apreciar la trampa de termodisco instalada en la tubería de vapor a la salida de los tanques. Esta trampa es necesaria para remover el condensado que se produce debido a la transferencia de calor dentro del tanque. Este condensado luego se recolecta en un tanque de condensados y se utiliza para precalentar el agua de alimentación de la caldera. También se puede ver el filtro en Y colocada antes de la trampa. En este caso hubiera sido mejor instalar una trampa tipo flotador y termostato ya que tiene una alta respuesta a cambios de carga cosa que no es así con las trampas termodinámicas de termodisco. El proveedor de las reguladoras recomienda la trampa de termodisco para este tipo de aplicaciones pero hay otros proveedores que recomiendan las de flotador y termostato. En mi opinión recomiendo usar la de flotador y termostato ya que son más baratas y son las más utilizadas. La única ventaja de las de termodisco es que soportan altas presiones pero en este caso no aplica y son de bajo mantenimiento, aparte que las trampas de termodisco se ven afectas por la temperatura mientras que las de flotador y termostato no ya que son de funcionamiento puramente mecánico.

Hay varias cosas que se pueden ver que no se tomaron en cuenta a la hora de la instalación. La posición en donde se instalaron las válvulas dificulta su accesibilidad, esto no permite cambiar el set point de la válvula fácilmente y cuando haya que realizar algún tipo de mantenimiento habrá dificultad. Como se puede ver en las fotos del apéndice la válvula se instalo en la parte de abajo del tanque y rodeada por una caja metálica para seguridad de los operarios de riesgos a quemarse. Otra cosa es que la posición de los termómetros en los tanques es en la parte de abajo, cosa que también dificulta su lectura. Aunque

ahora no hay que tener un control continuo del termómetro, siempre se tiene que llevar un control y esto es algo difícil por la posición.

Analizando ahora los precios de las válvulas se puede ver que son bastante caras. Los precios ofrecidos al cliente son de todas formas más bajos que el precio de lista del proveedor ITT Hoffman, pero se tenía un descuento con ellos y por ende el precio bajo considerablemente incluyendo ya la comisión y los gastos de flete e impuestos.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las válvulas reguladoras de temperatura se dimensionaron de tres distintas formas dando el mismo resultado, lo cual confirma el correcto dimensionamiento de las válvulas reguladoras de temperatura.
2. Las válvulas seleccionadas son de globo con cuerpo de cobre desde ½" hasta 2" de diámetro.
3. Se cotizaron las válvulas de los cuatro primeros baños de teñido según requerimiento de "Los Estanques", usando los resultados de dimensionamiento del segundo método para calcularlas ya que este método fue el que se siguió para dimensionarlas cuando se les cotizó.
4. La instalación de las válvulas tiene algunas deficiencias en el aspecto de accesibilidad, pero sí se tomó la precaución de instalar filtros en Y y hacer un "by-pass".
5. Se recomienda en el futuro darle un mantenimiento continuo a las trampas de vapor y a los filtro en Y para tener una línea bastante limpia y así evitar daños en los equipos.
6. Se considera haber satisfecho las necesidades del cliente ya que ahora se tiene un mejor control de la temperatura del agua y no es necesario tener un operario en el lugar para controlar la temperatura constantemente.
7. El procedimiento que se siguió para seleccionar y dimensionar las válvulas puede servir de consulta para personas que necesiten dimensionar y seleccionar válvulas según su situación.

IX. BIBLIOGRAFÍA

A. Bibliográficas:

Baumann, Hans. 1991. *Control Valve Primer, a user's guide*, 1era ed. Carolina del Norte, Instrument Society of America. 152 págs.

Skousen, Phillip. 1998. *Valve Handbook*. 1era ed. Nueva Cork, McGraw Hill. 577 págs.

Zappe, Robert. 1999. *Valve Selection Handbook*, 4ta ed. Houston, Gulf Publishing Company. 257 págs.

B. Catálogos:

2004 Armstrong General Catalog, 2004. Armstrong International Inc. Michigan.

2002-2003 General Catalog HS-900., 2002. ITT Hoffman Specialty. Chicago. 164 págs.

C. Documentos:

Ahorro de energía en sistemas de vapor, 1990. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. Guatemala. 217 págs.

Design of fluids systems, 1997. Spirax Sarco. Estados Unidos. 153 págs.

D. Sitios de Internet:

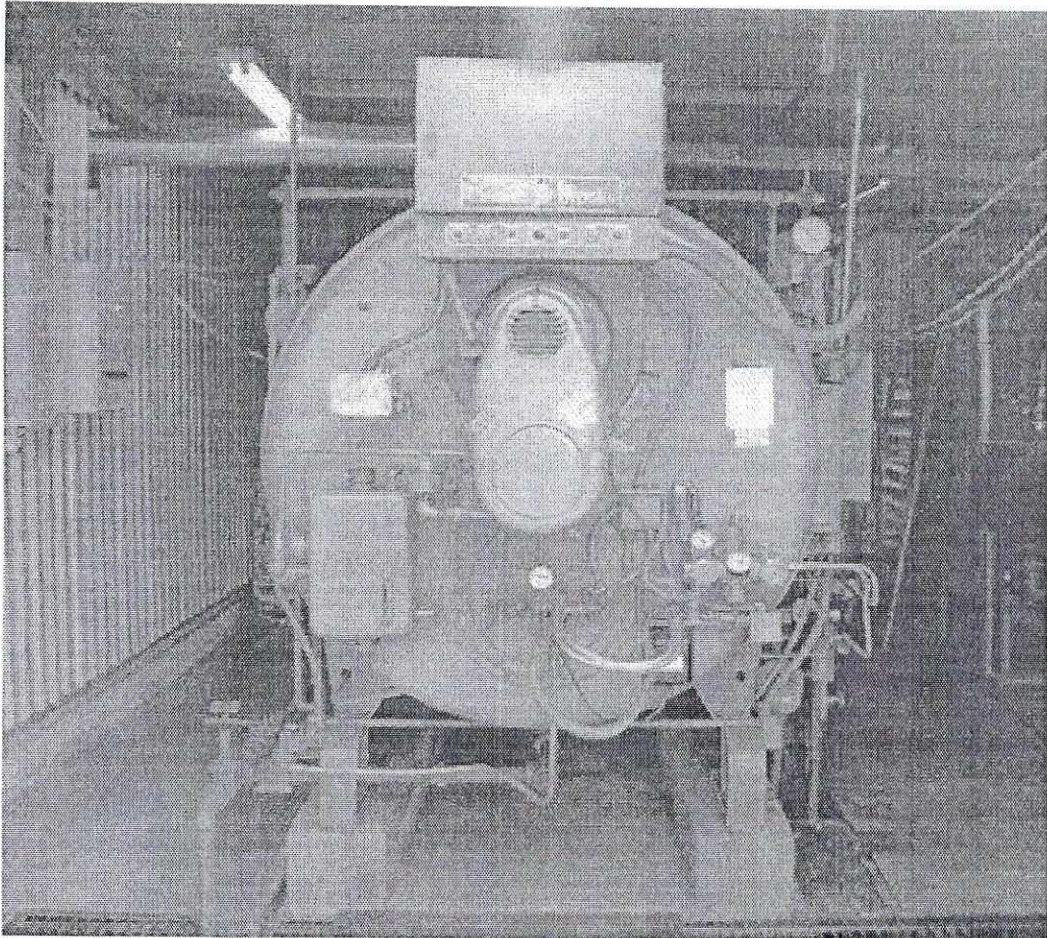
1) http://www.steamcontrol.com/index_docum_trampas.html

2) <http://www.hoffmanspecialty.com>

3) <http://www.cheresources.com/valvezz.shtml>

4) <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml#FLUJO>

X. APÉNDICE



Caldera marca Cleaver Brooks usada para generar el vapor que se usa para en la teñidoras

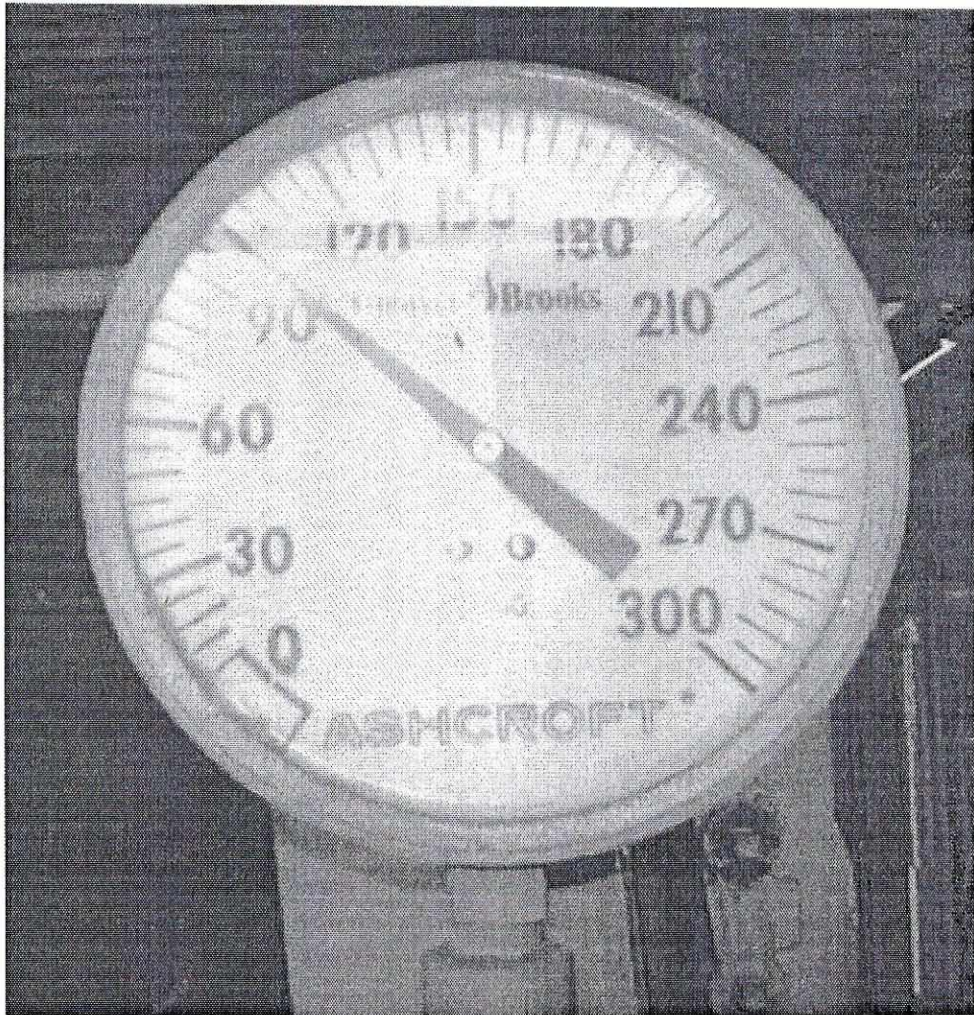


Foto del manómetro de la caldera en donde se puede apreciar la presión de operación de la caldera

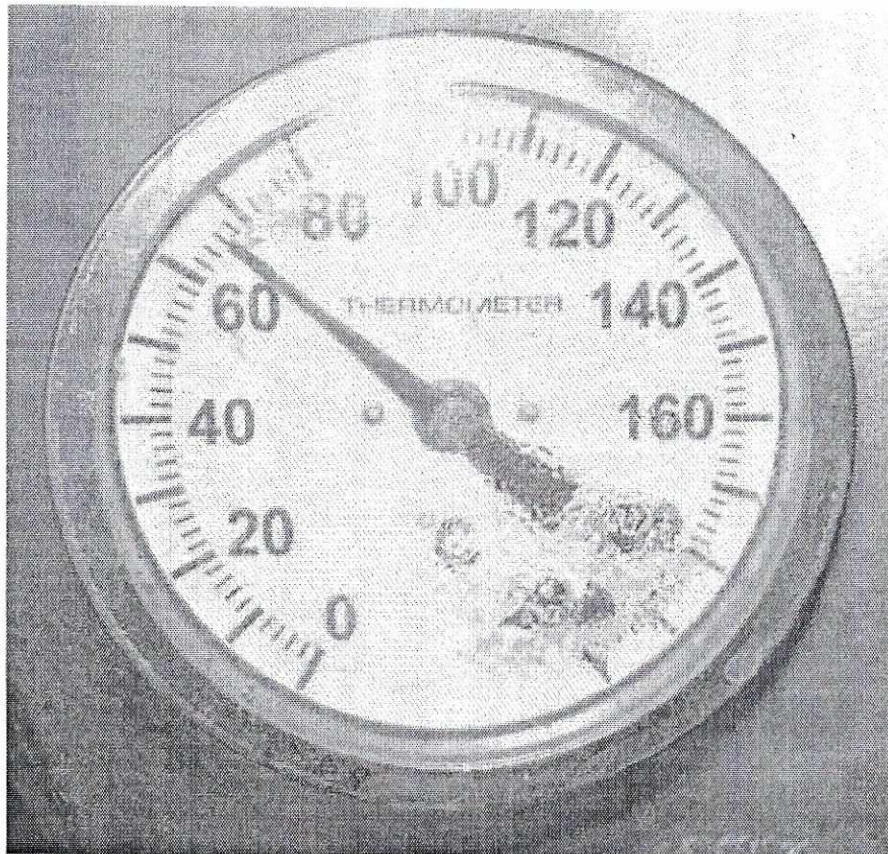


Foto del termómetro instalado en el tanque de retorno de condensados que sirve para determinar la temperatura de los condensados.

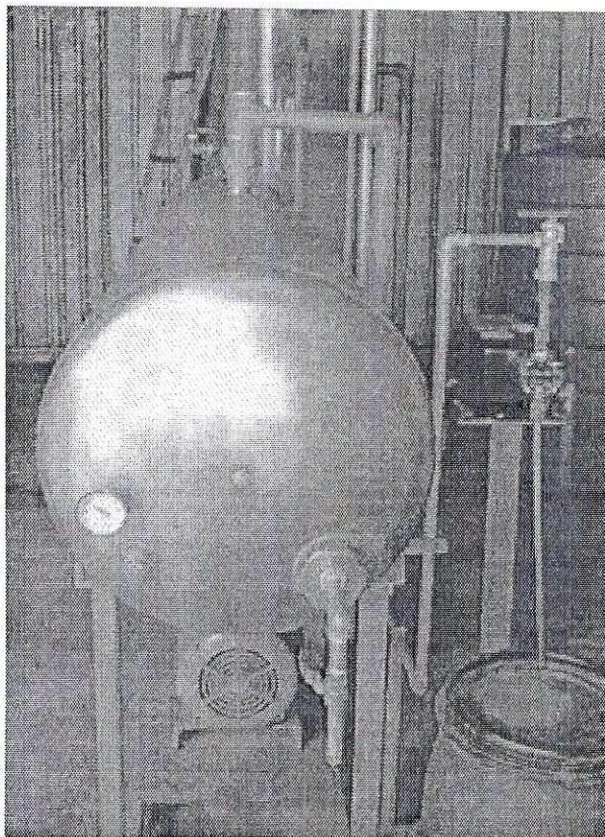


Foto que muestra el tanque de retorno de condensados. La tubería en la parte superior del tanque es la tubería de retorno de condensados para todos los baños de teñido.

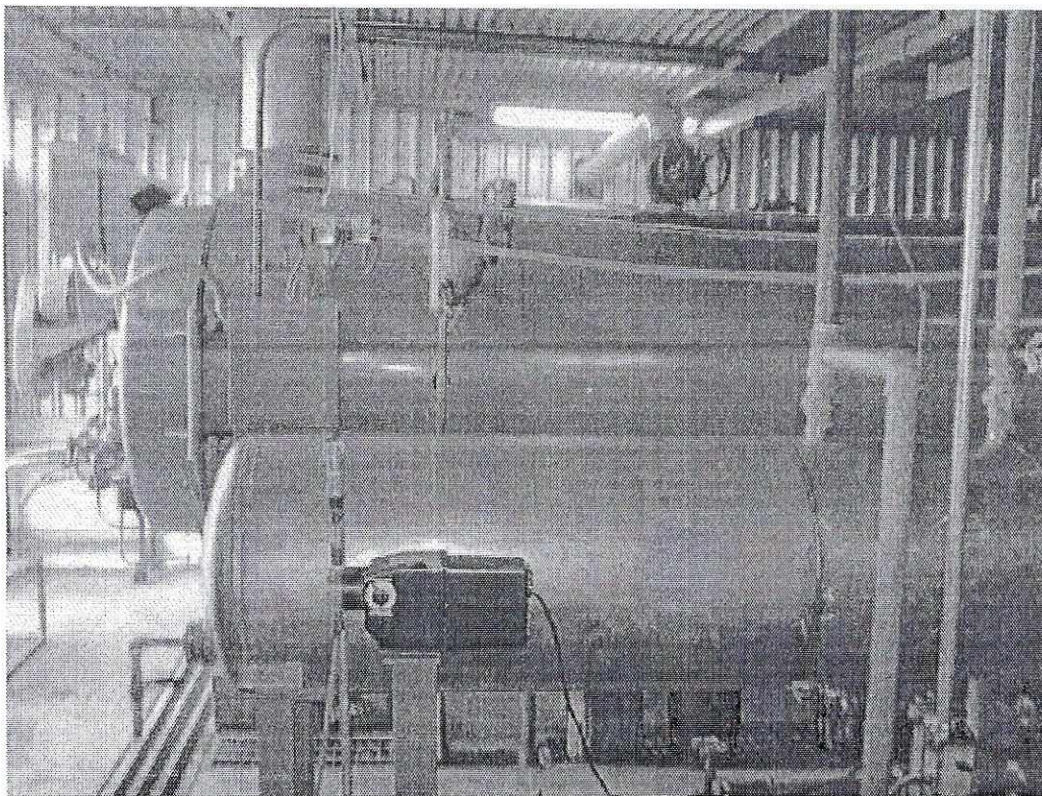


Foto que muestra el tanque de condensados y la caldera. En la parte superior de la caldera se puede ver la tubería principal de salida de vapor.

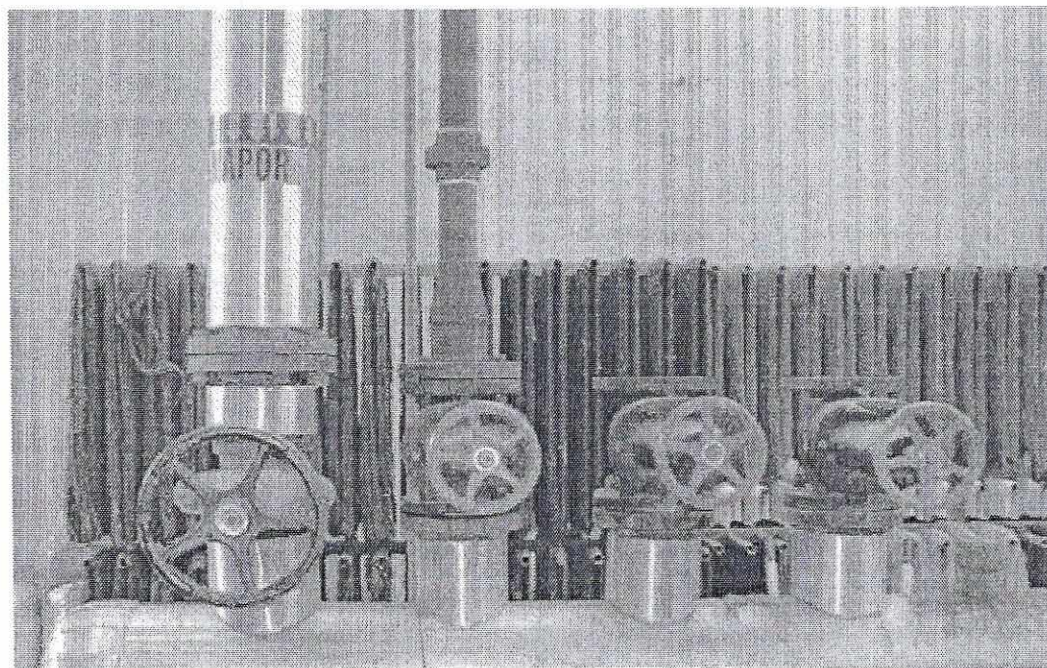


Foto que muestra el manifold de la red de vapor. Por el momento sólo sale una tubería hacia los 16 baños de vapor. Atrás se pueden ver ya algunas telas teñidas.

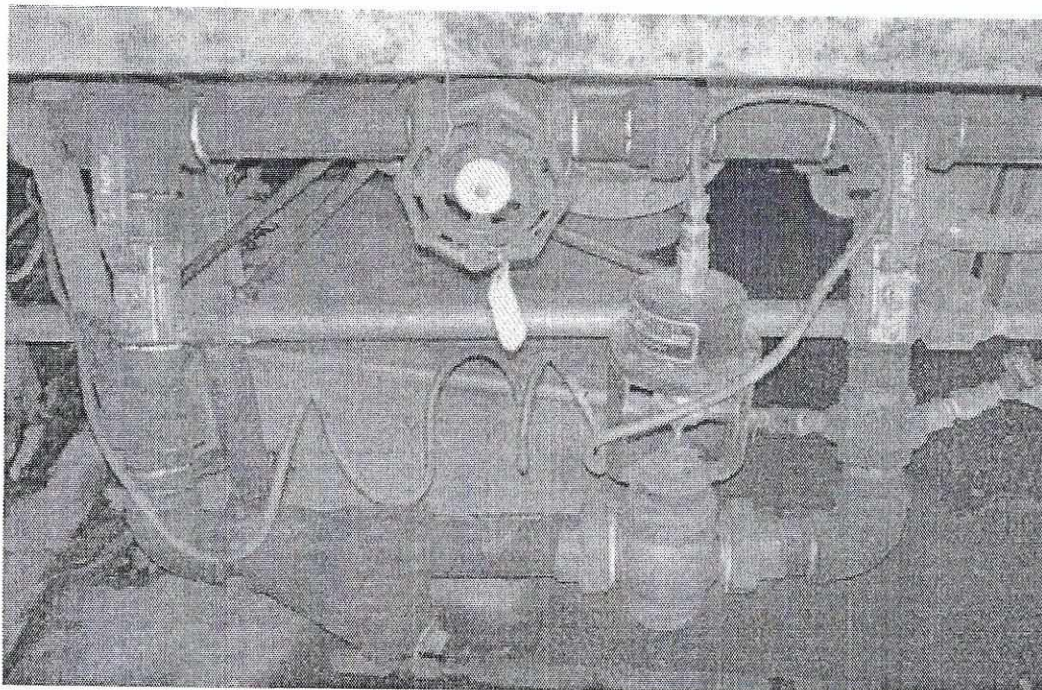
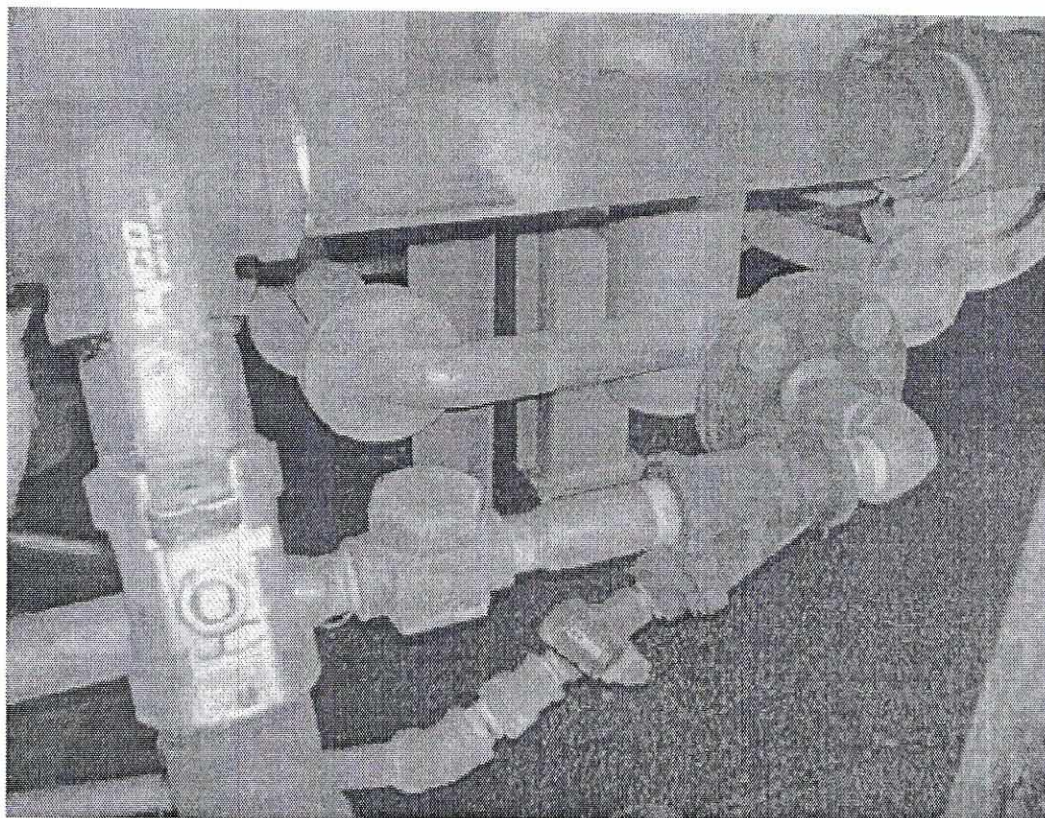


Foto que muestra la instalación de la válvula reguladora de temperatura. Como se aprecia en la foto, la válvula va con su respectivo filtro en Y y el by-pass. Para accionar el "by-pass" se tienen dos válvulas de bola y la válvula reguladora que entraría al accionar el "by-pass" sería una válvula de globo sin actuador.



La pasada foto muestra la salida del vapor y condensado del baño de teñido. Se puede apreciar el filtro en Y antes de la trampa de termodisco.

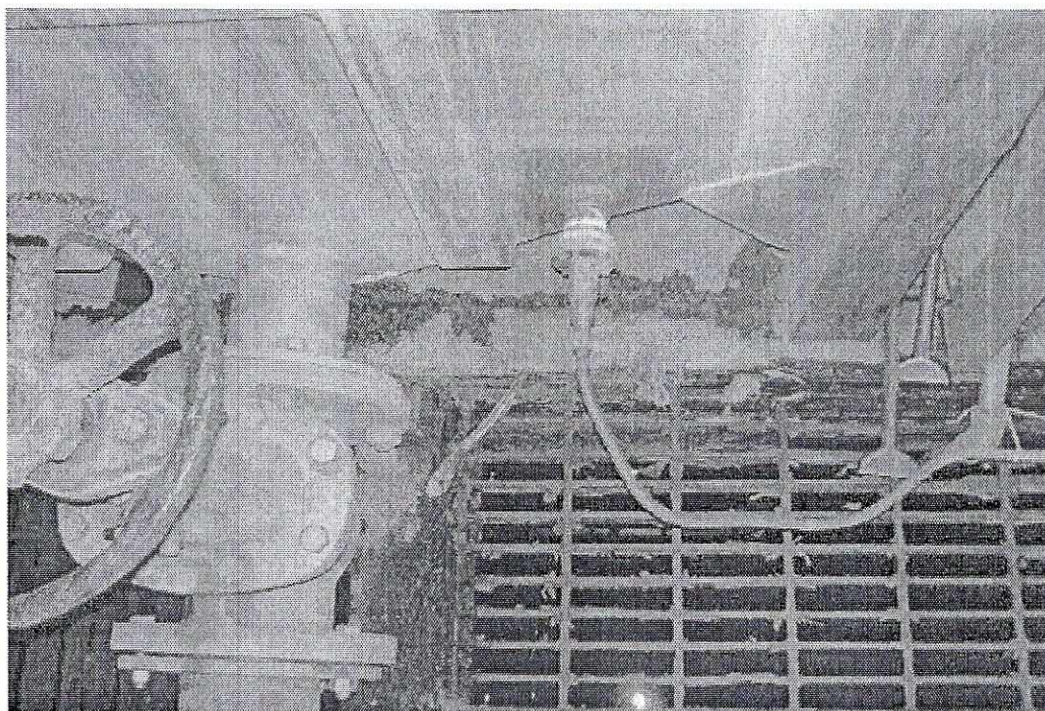


Foto que muestra la entrada del bulbo al termopozo dentro del baño.

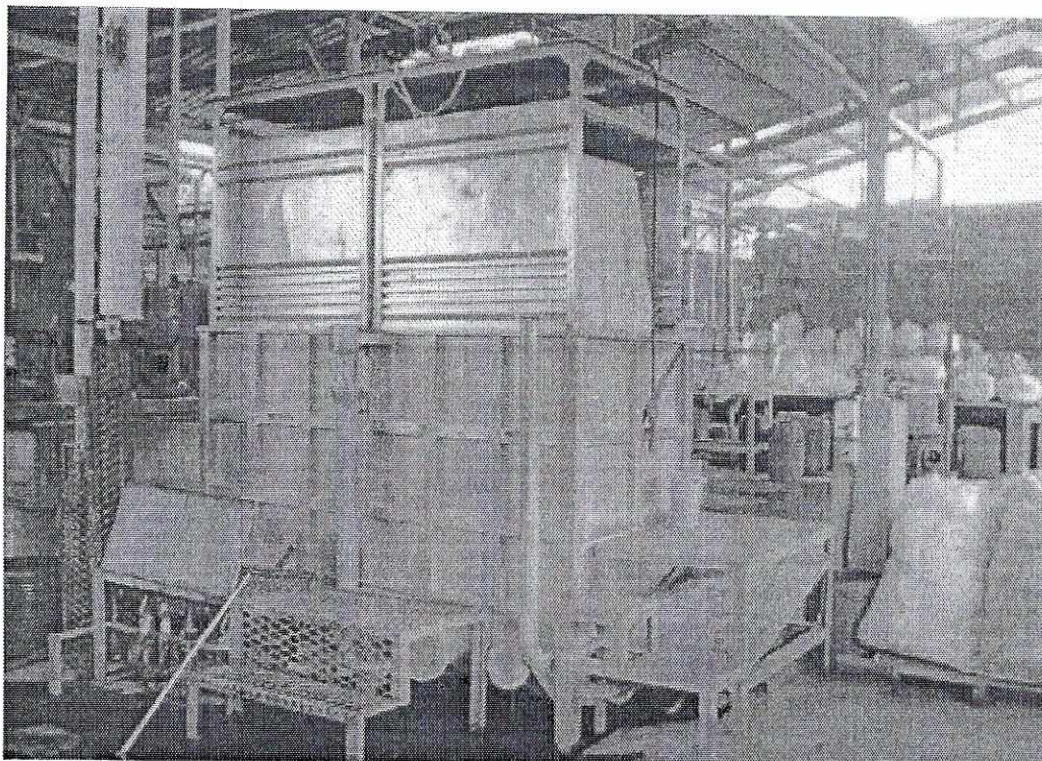


Foto que muestra el baño de teñido. Abajo a la izquierda se puede apreciar la instalación de la válvula.

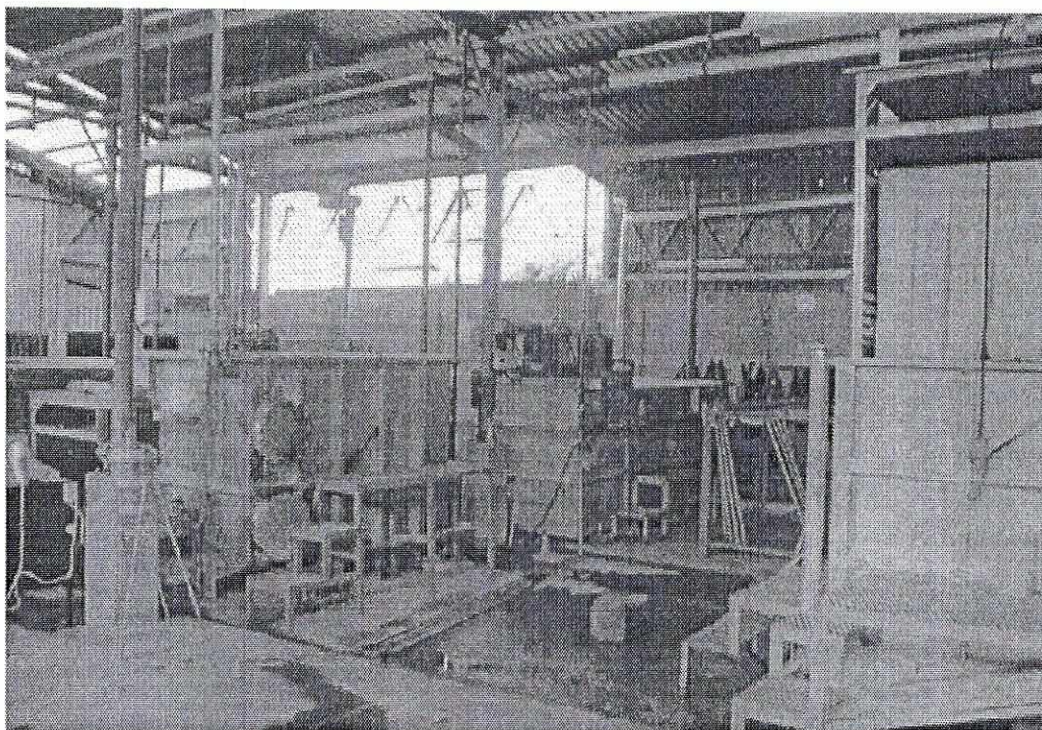


Foto que muestra algunos otros baños de teñido.

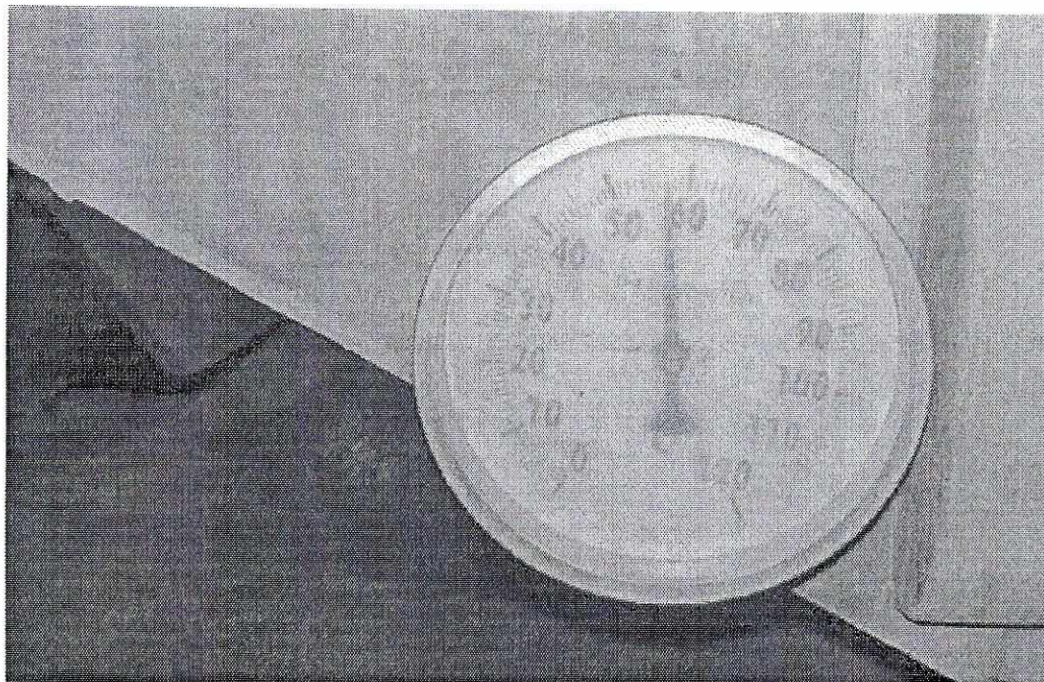


Foto que demuestra la temperatura del baño de teñido a la cual la válvula esta seteada.

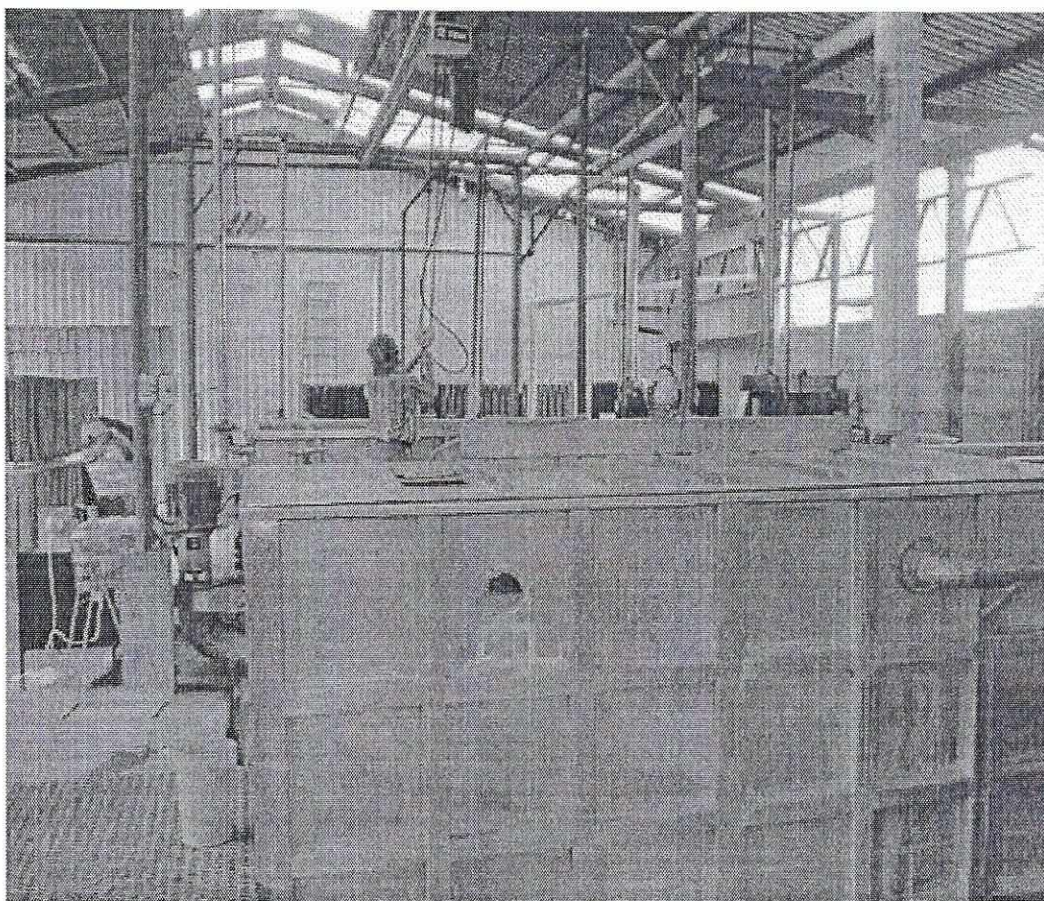


Foto que muestra el baño de teñido funcionando con la tela dentro.

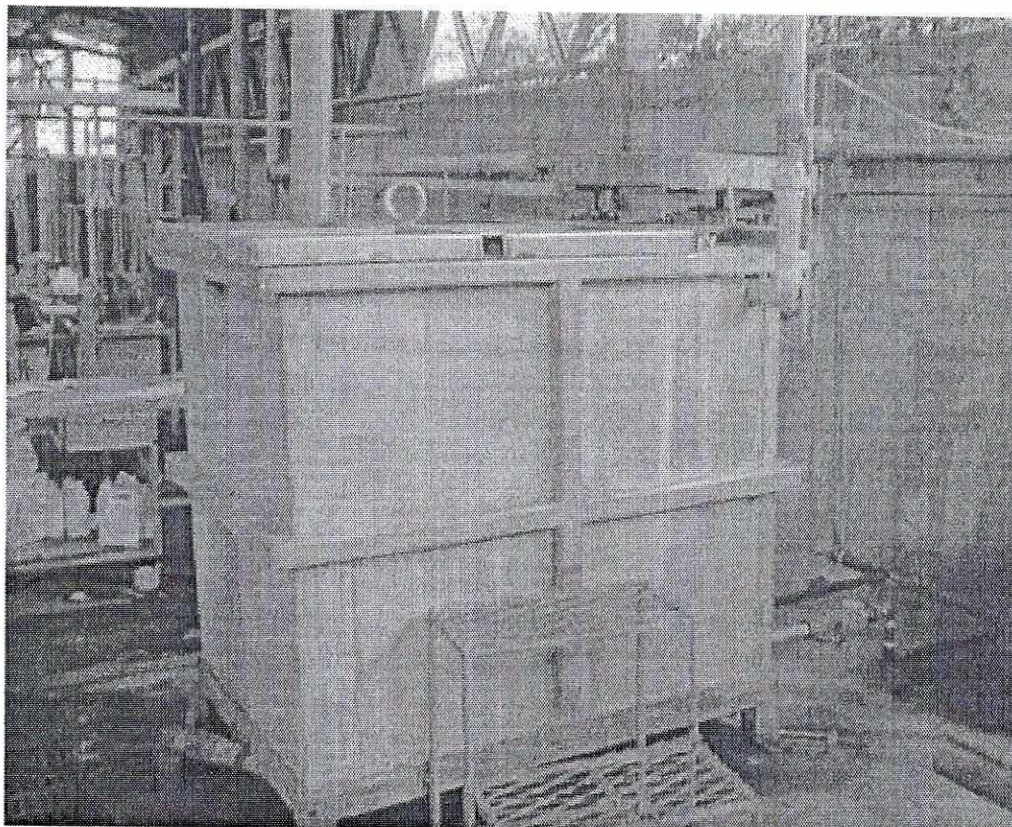
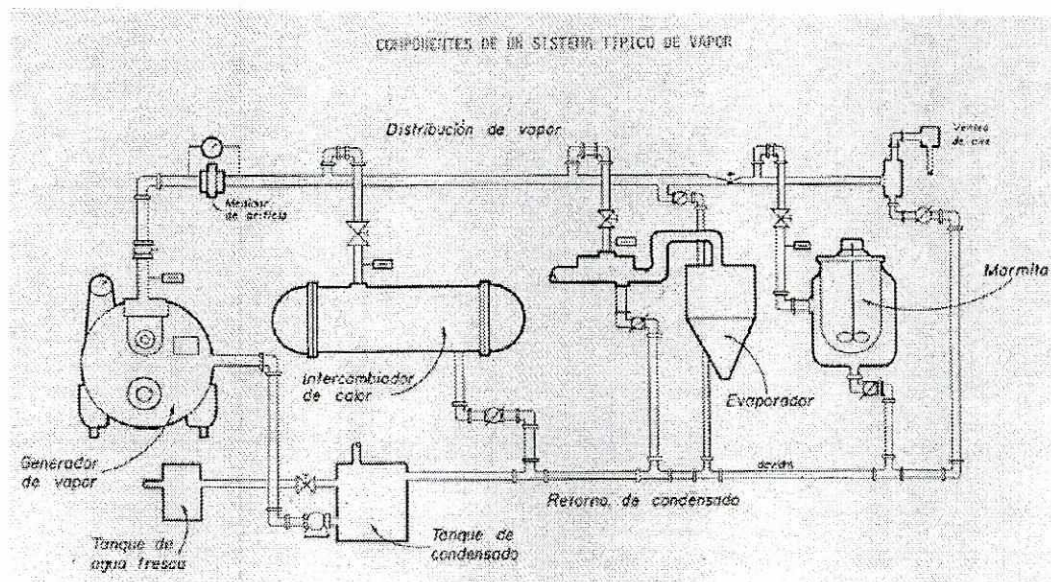
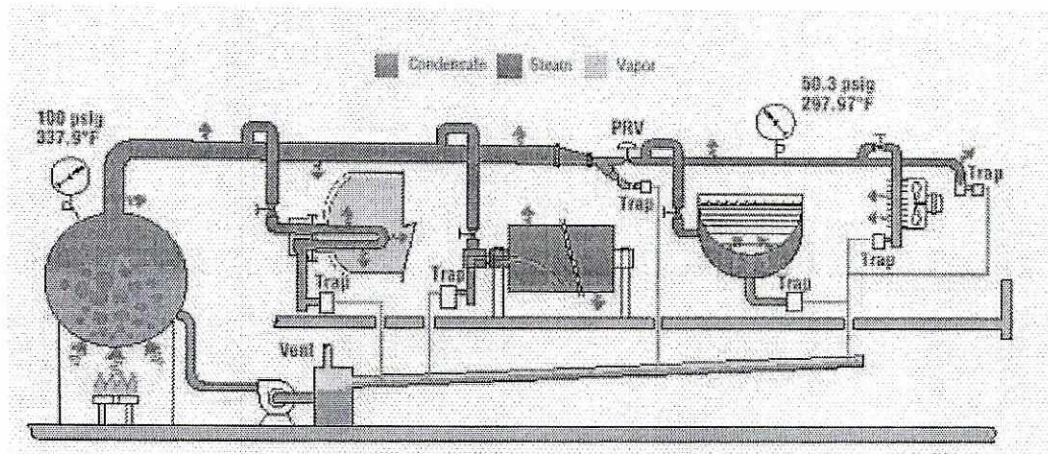


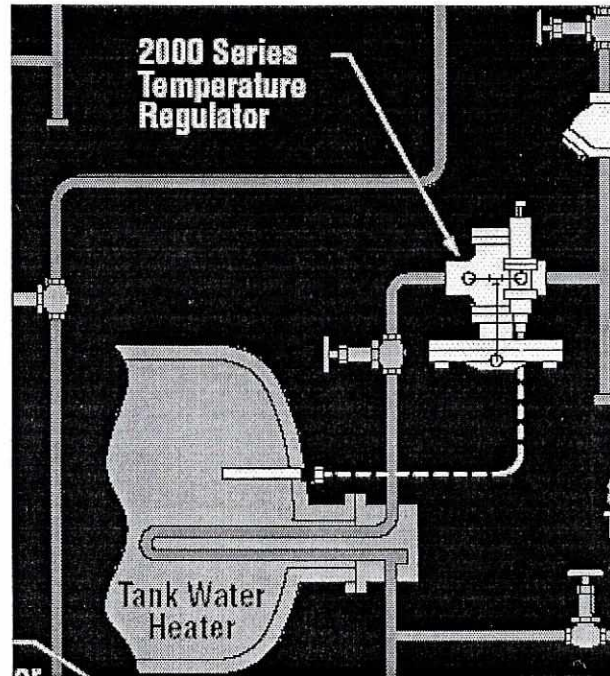
Foto que muestra otro baño sin instalación de la válvula reguladora de temperatura.



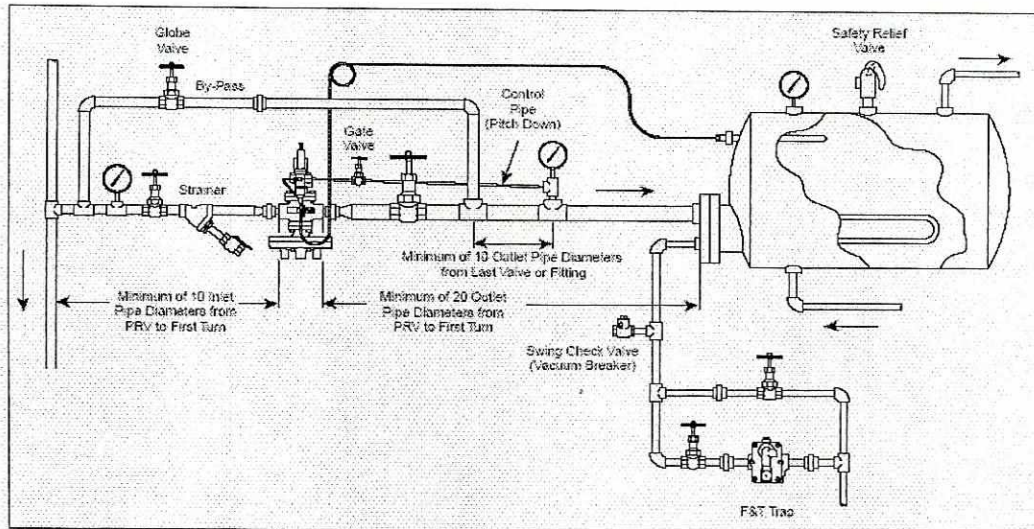
Componentes de un sistema de vapor (Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial Ahorro, 1990, 14)



Esquema de una red de vapor (2004 Armstrong General Catálogo, 2004, S-10)



Esquema instalación de válvula reguladora de temperatura (2004 Armstrong General Catalog, 2004, 1)



Instalación típica de una válvula reguladora de temperatura (2004 Armstrong General
Cátalog, 2004, 6)

Load Calculations

Heating oil with steam

$$\text{lb/hr steam} = \frac{\text{GPM} \times \Delta T \times 1.1}{4}$$

Heating water with steam

$$\text{lb/hr steam} = \frac{\text{GPM} \times \Delta T \times 1.1}{2}$$

Heating air with steam

$$\text{lb/hr steam} = \frac{\text{CFM} \times \Delta T \times 1.1}{900}$$

Jacketed kettles or tanks

$$\text{lb/hr steam} = \frac{\text{Gal} \times \text{SG} \times \text{Cp} \times \Delta T \times 8.3}{\text{Lat} \times \text{T}}$$

Where:

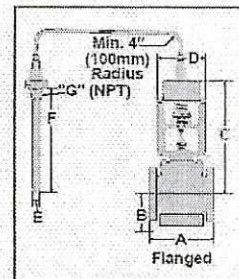
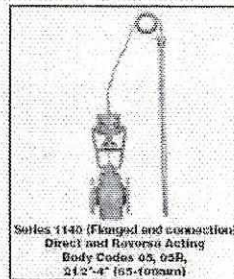
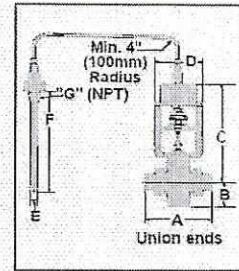
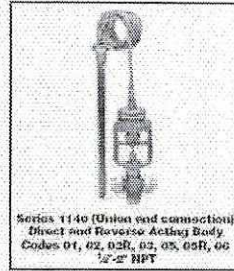
- GPM = Gallons per minute
- ΔT = Temperature rise ($^{\circ}\text{F}$)
- CFM = Cubic feet per minute
- Cp = Specific heat of liquids (Btu/lb- $^{\circ}\text{F}$)
- T = Time (hours)
- Lat = Latent heat of steam (Btu/lb)
- Gal = Gallons of liquid to be heated
- SG = Specific gravity
- 1.1 = Safety factor

Ecuaciones para cálculo de carga de vapor según la aplicación (2004 Armstrong
General Cátalog, 2004, 96)

Series 1140 & 1141 Regulators (continued)

Dimensions in. (mm)

| Body Type | Size In. (mm) | A | B | C | D |
|----------------|---------------|-----------|----------|-----------|----------|
| Union ends | ½ NPT | 4½ (124) | 2 (51) | 8⅝ (224) | 4⅝ (110) |
| | ¾ NPT | 5½ (136) | 2½ (56) | 9 (229) | 4⅝ (110) |
| | 1 NPT | 6½ (149) | 2¾ (59) | 9½ (232) | 4⅝ (110) |
| | 1¼ NPT | 8 (175) | 2¾ (67) | 9¾ (240) | 4⅝ (110) |
| | 1½ NPT | 7½ (190) | 2⅞ (72) | 9¾ (245) | 4⅝ (110) |
| Flanged 06 05R | 2½ (65) | 7¾ (124) | 4⅞ (116) | 16¾ (422) | 6 (162) |
| | 3 (80) | 8¾ (222) | 5¼ (133) | 16¾ (426) | 6 (162) |
| | 4 (100) | 10¼ (260) | 5¼ (149) | 17 (441) | 6 (162) |
| Flanged 06 | 2½ (65) | 9 (229) | 5 (127) | 16¾ (416) | 6 (162) |
| | 3 (80) | 9½ (241) | 5¼ (133) | 16¾ (425) | 6 (162) |
| | 4 (100) | 10¾ (280) | 6 (165) | 16¾ (410) | 6 (162) |



Copper Bulb Size, Dimensions in. (mm)

| Valve Size in. (mm) | Actuator | | E | F | G NPT |
|---------------------|----------|------|---------|----------|-------|
| | 1140 | 1141 | | | |
| ½ - 2 NPT | X | | ¾ (22) | 18 (457) | 1 |
| ½ - 2 NPT | | X | ¾ (16) | 11 (280) | 1 |
| 2½ - 4 (65-100) | X | | 1½ (29) | 35 (914) | 1¼ |

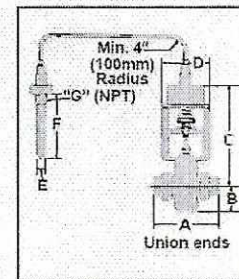
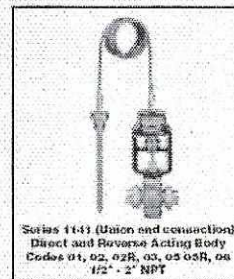
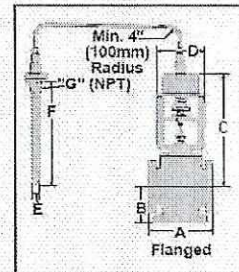
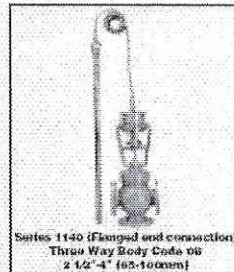
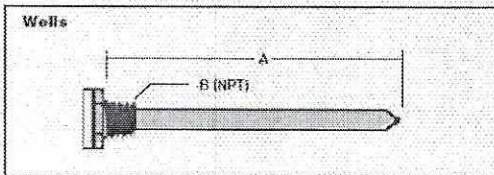
Wells, Dimensions in. (mm)

Series 1140

| Regulator Bulb Size in. (mm) | A | B |
|------------------------------|-----------|----|
| ¾ x 18 (22 x 457) | 18½ (470) | 1 |
| 1½ x 36 (102 x 915) | 36½ (927) | 1¼ |

Series 1141

| | | |
|-------------------|-----------|---|
| ¾ x 11 (16 x 280) | 11½ (292) | 1 |
|-------------------|-----------|---|



Fotos y especificaciones de las válvulas 1140 y el termopozo (Internet 2)

Steam Traps (continued)

Steam Trap Application Guide

This application guide is designed to help in the selection of the type of steam trap for the type of application. The choices are based upon common usage. However, the

specific choice of trap type should be based upon variations in the individual system and personal preference. This chart should serve only as a guide.

| APPLICATION | F&T | Inverted Bucket | Thermostatic | Thermofisc |
|----------------------------------|-----|-----------------|--------------|------------|
| Mains & Tracing Lines | | | | |
| Steam Mains | | | | |
| to 30 psig (2.1 bar) | 2 | 3 | 1 | |
| to 250 psig (17.3 bar) | 1 | 2 | | 3 |
| to 600 psig (41.4 bar) | | | | 1 |
| Steam Tracing Lines | | | | |
| Critical | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Non-Critical | 2 | 2 | 1 | 2 |
| HVAC | | | | |
| Heat Exchangers | | | | |
| to 20 psig (1.4 bar) | 1 | 2 | 2 | |
| to 125 psig (8.6 bar) | 1 | 2 | 2 | |
| to 250 psig (17.3 bar) | 1 | 2 | | |
| Radiators | | | 1 | |
| Unit Heaters | 1 | 2 | 1 | |
| Air Heating Coils | | | | |
| to 15 psig (1.0 bar) | 1 | 3 | 2 | |
| to 60 psig (4.1 bar) | 1 | 2 | 2 | |
| Absorption chiller | 1 | 2 | 2 | |
| PROCESS EQUIPMENT | | | | |
| Process Vats | 1 | | | 2 |
| Tank Heating | | | | |
| Storage Tanks | 2 | | 1 | |
| Line Heaters | 1 | | 2 | |
| Reboiler | 1 | 2 | | |
| Rotating Cylinders | 1 | 2 | | |
| Evaporators | 1 | 2 | | |
| Sterilizer | 1 | | 2 | |
| Pressing | 1 | 2 | 1 | |
| Cooker/Reactor | | | | |
| to 15 psig (1.0 bar) | 1 | 3 | 2 | |
| to 60 psig (4.1 bar) | 1 | 2 | 1 | |
| to 150 psig (10.1 bar) | 1 | 2 | | |

KEY: 1 = First Choice
 2 = Second Choice
 3 = Third Choice
 Blank = Not Recommended

Guía para aplicación de trampas de vapor (Internet 2)

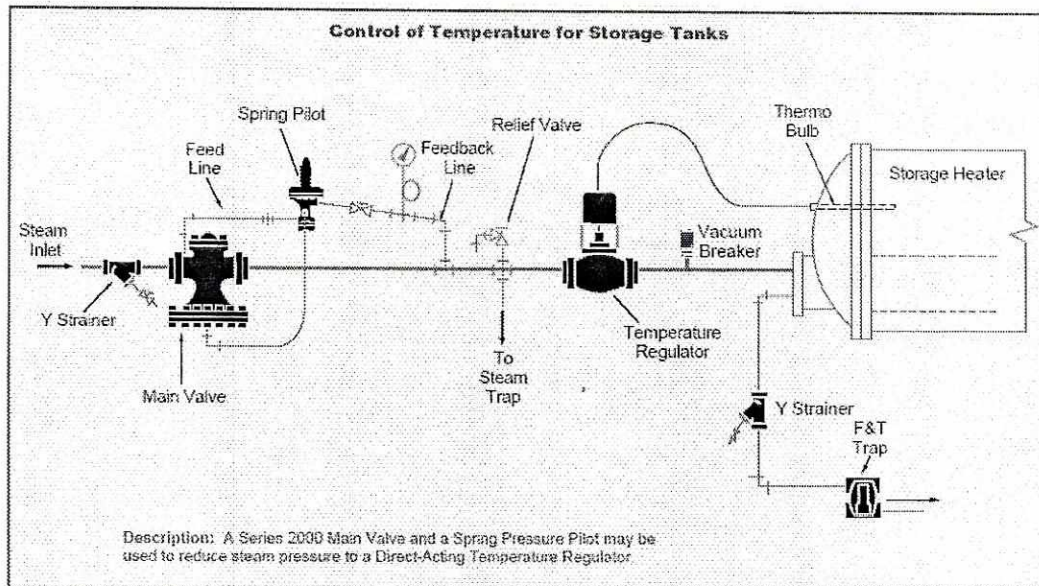


Diagrama de instalación típica de la reguladora de temperatura (Internet 2)

Steam Trap Criteria Comparison

| CRITERIA | F&T | Inverted Bucket | Thermostatic | Thermosisc |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--|---------------------------|
| Response to Load Changes | Fast | Moderate | Moderate | Slow |
| Air Venting | Medium/High | Low | High | Low |
| Thermal Efficiency | Medium/High | Medium | High | Medium |
| Primary Applications | Drip Legs Process Equip. | Drip Legs Process Equip. | Drip Legs Process Equip. Tracing | Drip Legs Tracing |
| Affected by Ambient Temperatures | No (Susceptible to freezing) | | No | Yes (unless insulated) |
| Relative Cost | Medium/High | Medium/Low | Low | Low |
| Capacity | High | High | Medium | Low |
| Pressure Range | to 250 psig (17.3 bar) | to 250 psig (17.3 bar) | to 125 psig (8.6 bar) | to 600 psig (41.4 bar) |
| Size vs. capacity | Large | Large | Small | Medium |
| Ease of Maintenance | Moderate | Moderate | Very Easy | Very Easy |
| Orientation limits | Yes | Yes | No | No |

Comparación entre trampas de vapor (Internet 2)

Steam Trap Selection Guide Chart

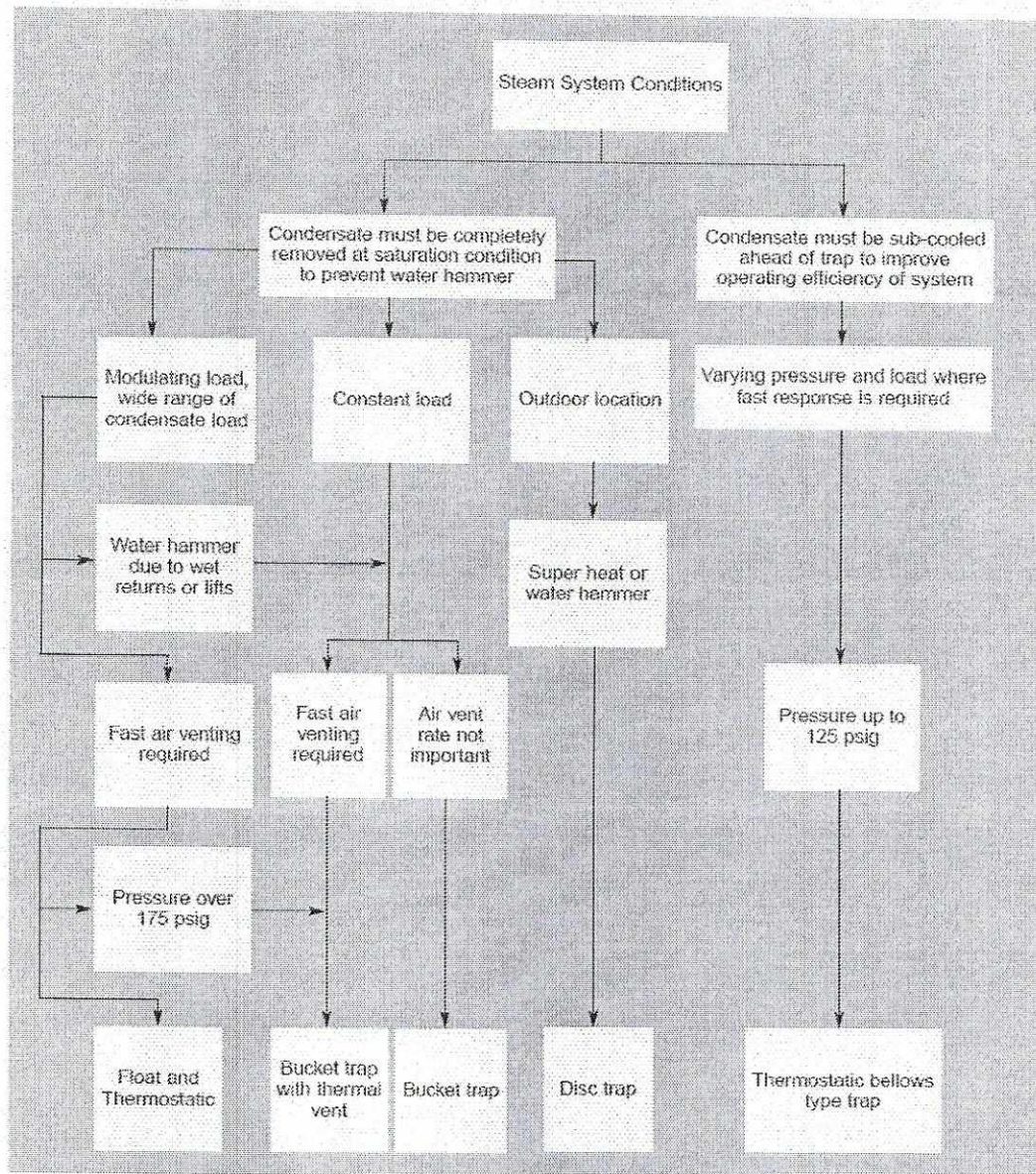


Diagrama para la selección del tipo de trampa de vapor (Internet 2)

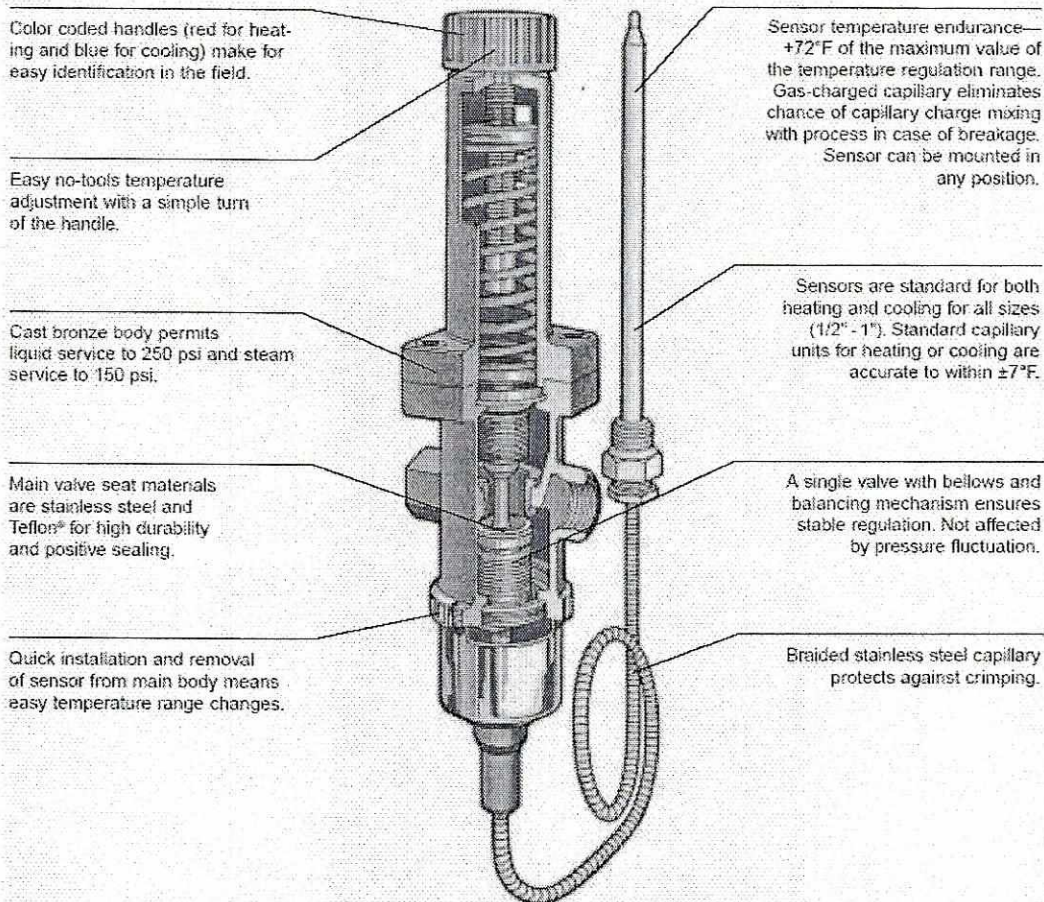


Temperature Regulators

For Steam, Water and Non-Corrosive Liquid Service

Armstrong self-actuated externally piloted temperature regulators are compact, high performance units that are simple in design and operation—and suitable for a wide

variety of applications. Features including flexible mounting positions of the sensor, interchangeable capillaries and varied temperature ranges make installation, adjustment and maintenance quick and easy.



Color coded handles (red for heating and blue for cooling) make for easy identification in the field.

Easy no-tools temperature adjustment with a simple turn of the handle.

Cast bronze body permits liquid service to 250 psi and steam service to 150 psi.

Main valve seat materials are stainless steel and Teflon® for high durability and positive sealing.

Quick installation and removal of sensor from main body means easy temperature range changes.

Sensor temperature endurance—+72°F of the maximum value of the temperature regulation range. Gas-charged capillary eliminates chance of capillary charge mixing with process in case of breakage. Sensor can be mounted in any position.

Sensors are standard for both heating and cooling for all sizes (1/2" - 1"). Standard capillary units for heating or cooling are accurate to within ±7°F.

A single valve with bellows and balancing mechanism ensures stable regulation. Not affected by pressure fluctuation.

Braided stainless steel capillary protects against crimping.

| Temperature Regulator Valve Selection | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--|------------------------------|--|----------------------|------------------|
| If the Service Is | If Inlet Pressure Is (psig (bar)) | Type of Control | Temperature Ratings °F (°C) | Temperature Accuracy °F (°C) | If Maximum Capacity Is Less Than lb/hr (kg/hr) | Look for Model | Find on Page |
| Heating | 15 to 150 (1 to 10) | Self-Contained Direct Acting | From 32 to 302 (0 to 150) 5 ranges | ±7 (±3) From set point | 1,745 (792) | OB-30 | PTC-41 |
| | 10 to 285 (69 to 20) | Self-Contained Pilot Operated | From 18 to 361 (-7 to 183) 6 ranges | ±2 (±1) From set point | 58,032 (26,323) | OB-2000 OB-2000PT | PTC-43 PTC-45 |
| Cooling | 5 to 250 (.34 to 17) | Self-Contained Reverse Acting | From 32 to 302 (0 - 150) 5 ranges | ±7 (±3) From set point | 70 gpm (306 m³/hr) | OB-31 | PTC-41 |

Esquema de válvula reguladora de temperatura (Armstrong General Catalog, 2004, 253)

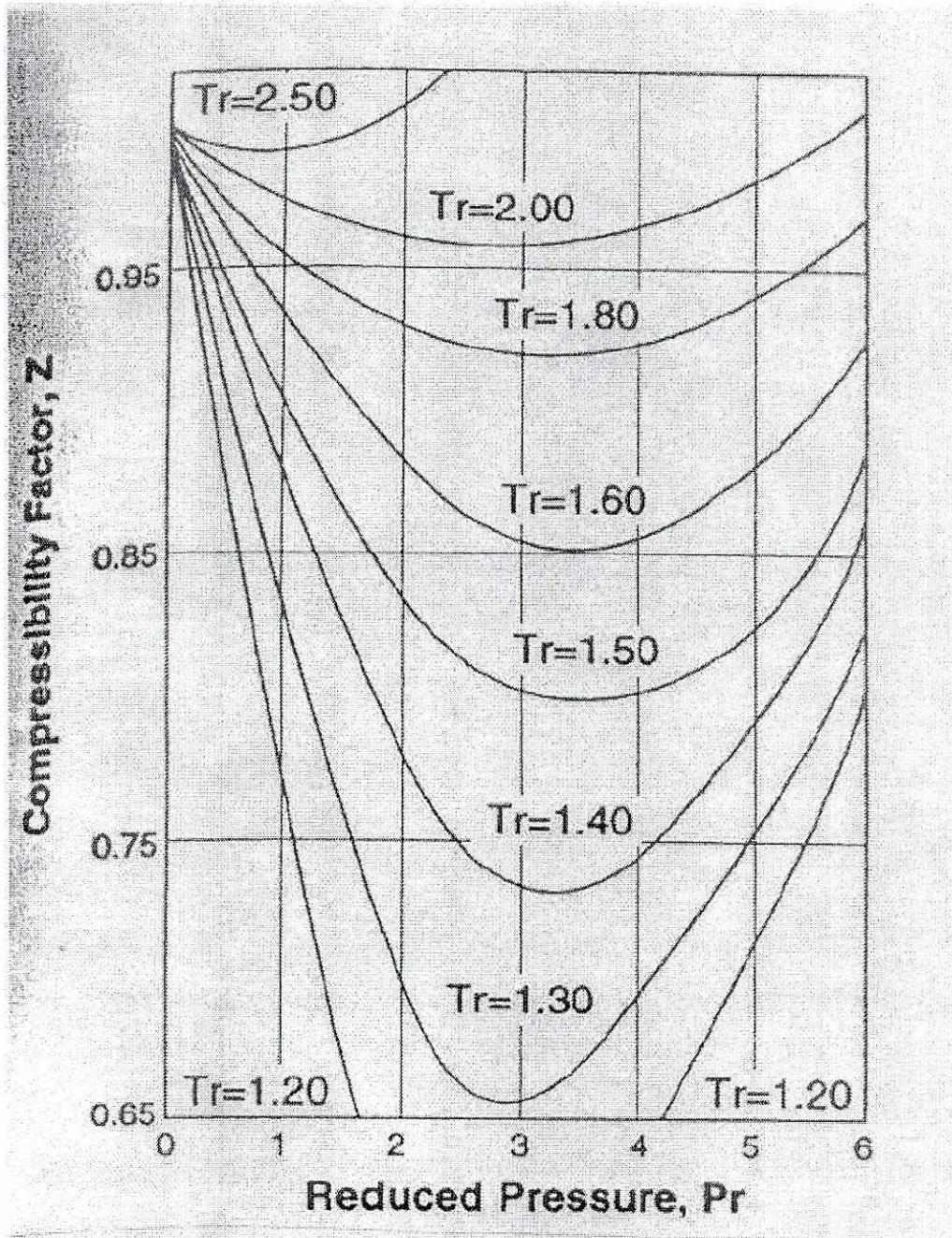


Diagrama de factor de compresibilidad Z
(Skousen, 1998, 463)

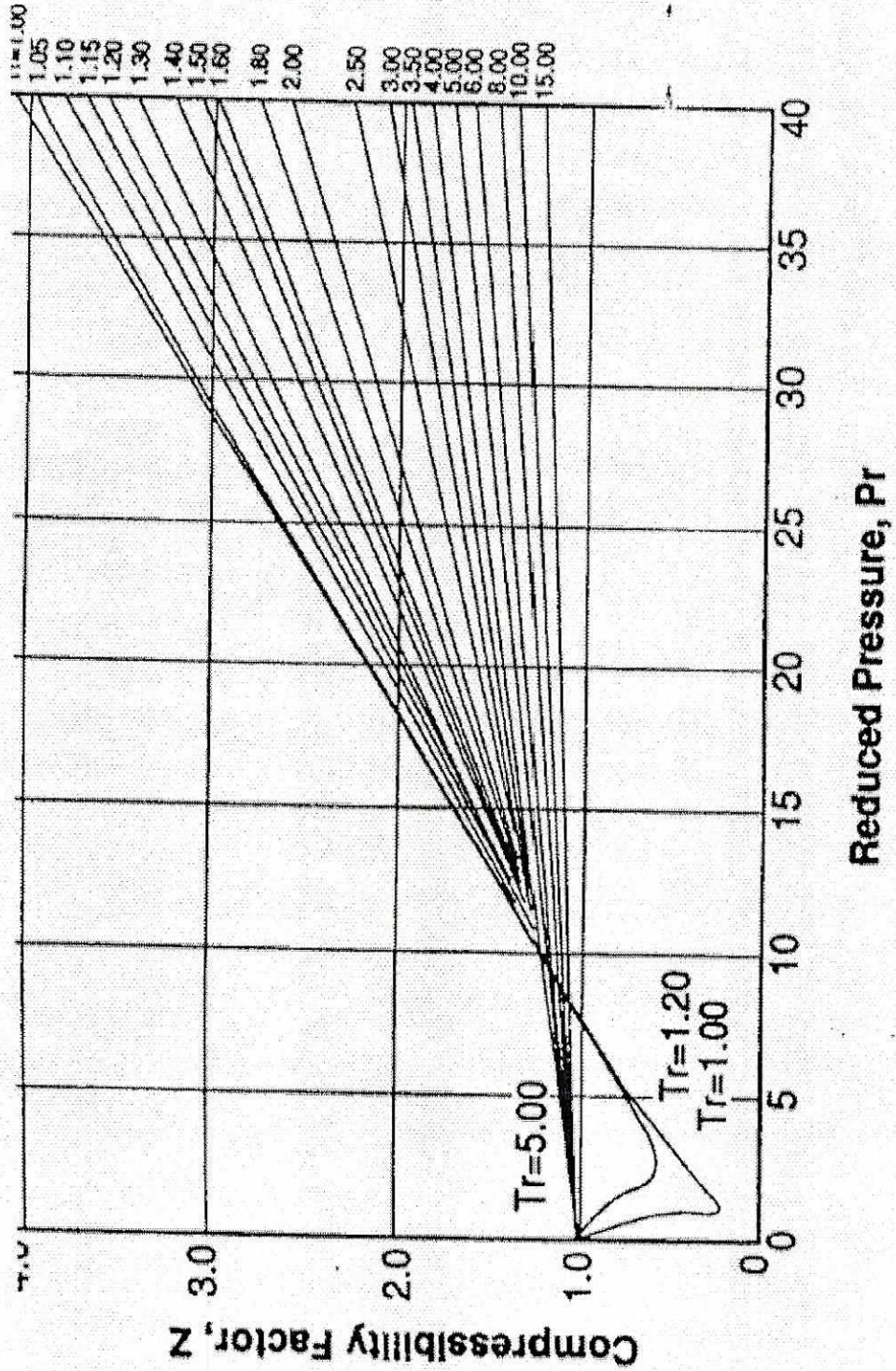


Diagrama de factor de compresibilidad Z
 (Skousen, 1998, 464)