

Gestión energética en redes de distribución de vapor en industrias de proceso

Merfy Adriana Rivera Méndez, Gladis Yussely Anzueto Herrera, Melany Elizabeth Monroy Cruz, David Sebastián Chacón de León, Amanda María Denise Ochoa, Angela Sofia Colón Cerezo¹

RESUMEN

En este artículo se introduce el tema de la gestión energética en una red de distribución de vapor, en donde se detallan las principales características, aplicaciones e importancia energética de las partes que integran la red de distribución de vapor.

El objetivo principal de esta introducción es que se conozca los parámetros energéticos que afectan a las diferentes partes de una red de vapor, los cuales se abarcan: la caldera como generadora de vapor, el sistema de tuberías de vapor, en su correcto dimensionamiento, los accesorios de la red de distribución como las trampas de vapor y manifold, las pérdidas energéticas y breve introducción a los equipos consumidores de vapor, así como la importancia de la calidad del vapor a través de todo el proceso y la identificación de las principales pérdidas energéticas en cada aspecto.

Palabras clave: gestión energética, red de distribución de vapor, caldera, trampas de vapor, consumidores de vapor, pérdidas energéticas.

ABSTRACT

This article introduces the topic of energy management in a steam distribution network, which details the main characteristics, applications and energy importance of the parts that make up the steam distribution network.

The main goal of this introduction is to know the energetic parameters that affect to the different parts of a network of steam, which include: the boiler as a generator of steam, the system of steam pipes in your correct sizing, the accessories of the distribution network such as steam traps, and manifold, the energy loss and brief introduction to computers consumer of steam, as well as the importance of the quality of the steam through the whole process and

the identification of the main energy losses in every aspect.

Keywords: energy management, steam distribution network, boiler, steam traps, steam consumers, energy losses.

INTRODUCCIÓN

El vapor de agua en la industria posee una aplicación fundamental debido a la necesidad fundamental de emplear fuentes de calor a distintos niveles de temperatura. Debido al elevado calor latente y baja densidad del vapor de agua hace que sea muy útil en las operaciones de calentamiento (Alfaro, 2013).

Realizando un análisis termodinámico se puede obtener las bases para la eficiencia energética industrial, donde la primera y segunda ley de la termodinámica son importantes para este propósito. En cuanto a la primera ley de la termodinámica provee los fundamentos para el balance de energía para una planta. Donde por medio del correcto entendimiento del uso de la energía será el primer paso hacia una mejor eficiencia energética y aprovechamiento de los recursos. La segunda ley de la termodinámica ayudará a enfocarse en la calidad o valor de la energía, así como la habilidad para realizar un trabajo (Alan Rossiter, 2019).

Un sistema de vapor está constituido por un generador de vapor o caldera, sistema o red de distribución del vapor, equipos consumidores de vapor y el retorno de los condensados. Estos elementos del sistema de vapor interactúan entre sí, por lo que un mal funcionamiento de alguna de sus partes afecta al rendimiento del vapor que se entrega o se produce, lo cual resulta en pérdidas energéticas y pérdidas económicas significativas. Por lo que se presentan cada una de las partes de un sistema de distribución de vapor, la importancia, así como el papel que estas desempeñan en el mismo, así como medidas preventivas que existan en su mal manejo y una introducción a los usos que puede tener el vapor en la industria. (Palacios J.L, 2015)

¹ Estudiantes destacados de último año de Ingeniería Química de la Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, Merfy Adriana Rivera Méndez, mriveram3@miumg.edu.gt Gladis Yussely Anzueto Herrera, ganzuetoh@miumg.edu.gt Melany Elizabeth Monroy Cruz, mmonroyc1@miumg.edu.gt David Sebastián Chacón de León, dchacond@miumg.edu.gt Amanda María Denise Ochoa, aochoa@miumg.edu.gt Angela Sofia Colón Cerezo acolonc@miumg.edu.gt

Gestión energética en redes de distribución de vapor en industrias de proceso

GENERADORES DE VAPOR O CALDERA

Una caldera es un equipo que provee de los medios necesarios para transferir el calor de una reacción de combustión hacia una corriente de agua, produciendo una corriente de vapor para una gama de aplicaciones. (J.B. Kitto, 2005). Dependiendo de la generación del vapor, las calderas pueden dividirse en dos grupos: Calderas pirotubulares, y calderas acuotubulares.

Las calderas pirotubulares se caracterizan por utilizar vapor saturado y son utilizadas para calentamiento en procesos industriales, estos ocupan un volumen de planta menor a las acuotubulares, y requieren un mantenimiento poco exhaustivo, su tiempo de montaje y puesta en marcha inicial es reducido con respecto a las acuotubulares. Las calderas acuotubulares se caracterizan por utilizar vapor sobrecalentado por lo que tienen un sobrecalentador en su estructura, ocupan un gran volumen de planta y sus costos de mantenimiento y mediciones son mayores. (Eberhard, 2012)

A continuación, se presenta un esquema del funcionamiento de una caldera acuotubular:

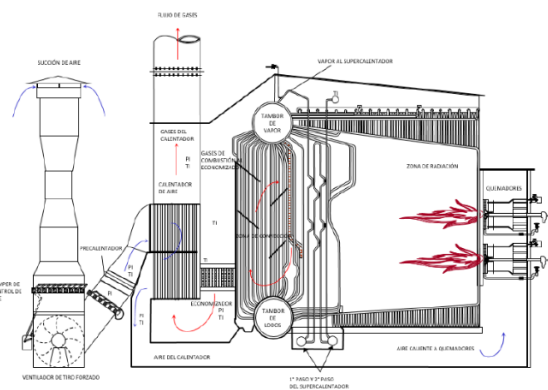


Figura no.1 Caldera acuotubular (López, 2017)

Entre los elementos más significativos que contribuyen a la gestión energética en una caldera se tienen los siguientes: (SpiraxSarco. 2021)

Precalentador de aire:

Un precalentador de aire consiste en un intercambiador de calor que utiliza los gases producto de la combustión de la caldera para aumentar la temperatura del aire entrando a la caldera. Este proceso de aumento de temperatura del aire mejora la combustión dentro de la caldera, este proceso promueve eficiencia térmica y de combustión. Dado

que utiliza la energía térmica que contienen los gases de chimenea, se le denomina un equipo de recuperación de calor. (Ganapathy. 1988)

Economizador:

Es un equipo de recuperación de calor, dentro de un sistema gas-líquido, que utiliza la energía térmica de los gases de combustión para aumentar la temperatura del agua de alimentación a la caldera, la temperatura alcanzada llega a ser cercana a la de saturación, esto conlleva a la reducción del consumo de combustible y aumento de la eficiencia de vapor, dentro del diseño del intercambiador el intercambio de calor permite que no se gene vapor dentro de los tubos sino hasta la caldera. Este equipo también es un recuperador de calor, y la cantidad recuperada de calor que se puede obtener se limita a la temperatura de punto de rocío de los componentes ácidos de los gases de combustión, estos se limitan al contenido de azufre en el combustible y dióxido de azufre en la combustión.

Recuperación energética de la purga de la caldera:

Consiste en un intercambiador de calor, que utiliza el calor del agua liberada para el precalentamiento de agua de reposición o de alimentación. Si se desea utilizar este tipo de sistema de recuperación de calor, debe de instalarse un tanque flash dada la alta presión que contiene el agua de purga, por lo que posterior al tanque flash, se realiza la separación de agua y vapor, transportando el agua de purga a menor presión hacia el intercambiador de calor, utilizándose en este caso un enfriador de venteos, y saliendo con menor temperatura se desecha este último dada la alta concentración de sales en su composición.

Eficiencia de combustión:

La eficiencia de combustión mide el qué tan efectivo es la transferencia del contenido de calor del combustible en calor utilizable para el equipo, entre los indicadores principales para la eficiencia de la combustión se tienen la temperatura de gases de chimenea, así como los contenidos de oxígeno y dióxido de carbono en dichos gases. (Advanced Manufacturing Office, 2012)

En la práctica no es posible el obtener una eficiencia de combustión del 100%, dado que hay pérdidas de energía en la combustión, algunas pérdidas de energía se dan debido a las siguientes razones:

- Calor por radiación y convección

Gestión energética en redes de distribución de vapor en industrias de proceso

- Humedad del combustible
- Gases de combustión secos
- Combustión del hidrógeno
- Humedad del aire
 - Formación de agua en la combustión
 - Vapor de agua en el combustible
 - Humedad en el aire
- Inquemados
- Calor sensible de los residuos
- Formación del NOx

Uno de los aspectos más significativos en la combustión dentro de la caldera es el porcentaje de aire de exceso que se utiliza, dado que la combustión es una reacción química de oxidación donde se combinan un combustible y un comburente, lo cual libera energía en forma de luz y calor. La combustión puede ser parcial o total, teniendo mayor liberación de energía en la combustión total. El aire requerido para esta combustión se puede obtener de un cálculo estequiométrico, aunque esta cantidad es insuficiente dado que los cálculos estequiométricos son ideales por lo que se debe de utilizar una cantidad mayor de aire conocida como “exceso”, este se expresa como un porcentaje. (McCabe, W., C. Smith, J., & Harriott, P.2007)

Esto conlleva al pensamiento de elevar a grandes porcentajes de aire en exceso para asegurar la combustión completa, sin embargo, se generan pérdidas de calor en los productos de combustión conforme se aumenta en gran medida el porcentaje de exceso de aire, esto es dado ya que la cantidad nitrógeno que ingresa a la caldera es significativa y absorbe parte del calor utilizable para formar compuestos nitrogenados no deseados, por lo que el porcentaje de aire en exceso es proporcionado a partir de análisis de gases de chimenea, así como dependerá del tipo de combustible y tecnología del quemador. (Palacios J.L, P. A. 2015)

Eficiencia de la caldera:

La eficiencia de la caldera corresponde a la conversión del calor utilizable del combustible en vapor generado, la diferencia entre el calor liberado hacia el agua de alimentación y el calor absorbido para convertirse en vapor corresponde entonces a las pérdidas de calor en la caldera, su determinación puede ser por medio de dos métodos:

Directo: Mediante la energía útil producida como vapor producido y la energía suministrada como el combustible, por lo que se requiere de mediciones de vapor producido, consumo de combustible y su poder

calorífico, presión y temperatura del agua de alimentación.

Indirecto: Se tiene un rendimiento inicial del 100% en la caldera, y se le restan las pérdidas de calor ya sea por radiación y convección, purga, eficiencia de combustión, etc.

Entre las principales pérdidas de vapor en la caldera se pueden tener las siguientes:

Espesor o capa de hollín:

El ensuciamiento del equipo debido a la capa de hollín produce una disminución en la transferencia de calor dado que actúa como un aislante térmico, ya que es un tipo de incrustación que reduce el flujo de calor entre el agua de alimentación y los productos de la combustión.

Purga:

El contenido de sólidos totales en el agua de alimentación es fundamental para el funcionamiento de la caldera, por lo que todo mecanismo utilizado para la reducción de la cantidad de agua eliminada a través de la purga de la caldera promueve la reducción en las pérdidas de calor, por lo que generalmente se purga de forma periódica la caldera.

Entre otros:

Pérdidas de calor debido al ingreso de aire a temperatura ambiente hacia la caldera, el cual podría ser precalentado como método de precalentamiento con los gases de chimenea. Y las pérdidas de calor por radiación y convección.

RED DE DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS DE VAPOR

Para las tuberías de distribución de vapor es de suma importancia el dimensionamiento de estos. Para el dimensionamiento de tuberías es erróneo el elegir el tamaño de las tuberías en base al tamaño que tienen las conexiones de los equipos consumidores de vapor, dado que existe una posibilidad de no alcanzar el caudal másico deseado en la tubería, por lo que su selección debe de ser basada estrictamente por velocidad de flujo o caída de presión dado que el vapor tiene ciertas restricciones en cuanto a su velocidad de flujo y caídas de presión que produce a lo largo de una línea de distribución. (Roca, S. M. 2007).

Dimensionamiento en base a la velocidad de flujo.

Gestión energética en redes de distribución de vapor en industrias de proceso

Para las tuberías de distribución de vapor saturado seco, es utilizado generalmente un rango de velocidades entre 25-40 m/s considerando el máximo de velocidad cuando se tienen efectos de erosión y ruido en las tuberías, además considerando que el vapor puede conllevar un porcentaje de humedad disminuyendo su calidad y afectando a las tuberías de forma negativa. En las líneas de suministro de vapor con grandes longitudes frecuentemente es necesario la reducción de la velocidad del vapor a unos 15-20 m/s para evitar caídas de presión, una fórmula útil para el cálculo del diámetro de la tubería es por medio de la siguiente ecuación: (Toledo López, A. F.2009)

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi C}}$$

Siendo:

D: Diámetro de la tubería

V: Flujo volumétrico

C: Caudal volumétrico

Dimensionamiento en base a la caída de presión

Además del dimensionamiento en base a la velocidad de flujo del vapor, puede dimensionarse mediante una restricción de caída de presión máxima de la línea de vapor antes de que el vapor ingrese a un equipo consumidor, de este modo, se utiliza la diferencia entre la presión del vapor en el extremo de alimentación de la tubería y la presión que es requerida en la entrada del equipo consumidor de vapor, por lo que se utiliza un nomograma que relaciona el tipo de vapor que viaja a través de la tubería, con sus parámetros de temperatura y presión respectivas, el caudal del vapor y velocidad del vapor para así dimensionar la tubería.

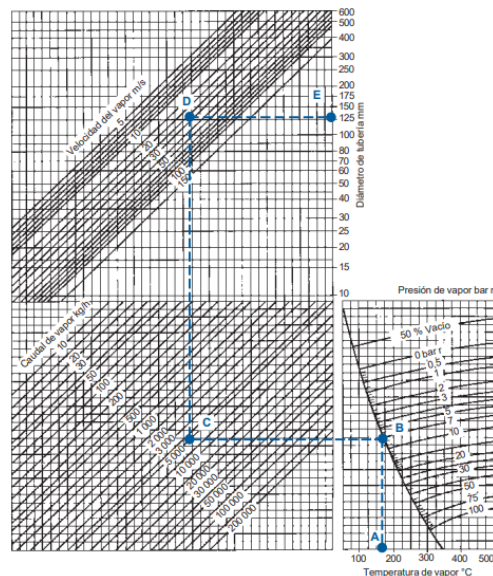


Figura no. 2 Nomograma para dimensionado de tubería de distribución de vapor, (Spirax sarco)

Subdimensionamiento y sobredimensionamiento

Es importante el dimensionamiento de las tuberías de distribución de vapor dado que un pobre dimensionamiento produce desventajas tanto en la gestión energética en la red de distribución de vapor, como en el área financiera. (Alan Rossiter, B. J. 2019).

Desventajas de sobredimensionamiento:

Sabiendo que el sobredimensionamiento es el dimensionar excesivamente las tuberías de vapor, asignando diámetros superiores al requerido, inicialmente podría pensarse que al aumentar el diámetro de la tubería se tiene un mayor flujo de vapor para la alimentación de equipos consumidores, la desventaja es el mayor flujo de condensado a remover lo cual incrementa el riesgo de golpe de ariete si no es removido correctamente el condensado, además de aumentar la cantidad de material necesario y por ende aumentar los costos de instalación y mantenimiento, la calidad del vapor disminuye dado que al aumentar la posibilidad de acumulación de condensado, el vapor incrementa su humedad conforma aumenta su flujo y arrastra partículas de condensado a lo largo de su trayecto o línea de distribución. (Vega. 2018)

Desventajas del subdimensionamiento

El subdimensionamiento es el dimensionamiento insuficiente de las tuberías, dado que se asigna un diámetro menor al requerido en la tubería, esto

Gestión energética en redes de distribución de vapor en industrias de proceso

genera una mayor velocidad de vapor en la línea de distribución y una mayor caída de presión, esto resulta en un riesgo de golpe de ariete por la velocidad del vapor, así como un riesgo de erosión en las tuberías dadas las altas temperaturas del vapor y la velocidad. Dado que la caída de presión es mayor, existe el riesgo de que el vapor no contenga la presión necesaria para el equipo consumidor de vapor al final de la línea de distribución.

ACCESORIOS FUNDAMENTALES EN LA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

Trampas de vapor:

Las trampas de vapor son válvulas automáticas, las cuales tienen como principal función retener el vapor dentro de un determinado proceso o espacio, para después drenar el condensado que se forma luego de haber entregado su energía. Por lo que las trampas de vapor son importantes porque convierten los sistemas de vapor en confiables y eficientes, dado que ahorran energía evitando fugas de vapor, así como se encargan de descargar gases no condensados, en los sistemas de distribución de vapor estos gases no condensados son aire generalmente.

Para la clasificación de trampas de vapor, se distinguen por sus principios de construcción y por su funcionamiento, entre las principales clases de trampas de vapor se tienen las siguientes:

Trampas de vapor mecánicas: estas también son llamadas trampas de densidad, su principio de funcionamiento se basa en la diferencia de densidades entre el condensado y el vapor que se distribuye. Esto es por medio de una válvula que se abre y cierra debido al movimiento de un flotador que se eleva y se hunde con el flujo de condensado. Estas son capaces de operar de forma precisa sin que su rendimiento se vea comprometido por la mayoría de los factores externos. Entre estas se incluyen las trampas de vapor *Free Float*, flotador de palanca y trampas de vapor de cubeta invertida, siendo las últimas las más utilizadas generalmente.

Trampas de vapor termodinámicas: Estas son valuadas por su tamaño compacto y versatilidad para un rango amplio de presiones. Pueden tener una construcción simple y operar tanto en posición vertical como horizontal, lo que hace que sean la opción favorita para una amplia variedad de sistemas de vapor, drenajes de tubería de distribución y algunos procesos de poca producción que utilicen vapor. Su principio de operación se basa en utilizar la

diferencia de energía cinética entre el vapor a alta velocidad y el condensado en movimiento más lento.

Trampas de vapor termostáticas: Su principio de funcionamiento utiliza la diferencia de temperatura entre el condensado el cual es cercano a la temperatura de vapor y el condensado subenfriado o gases no condensados como el aire que están a menor temperatura. Son generalmente recomendadas para eliminar el condensado del equipo que use vapor, las líneas de distribución de vapor y el trazado a alta temperatura. (Vega, 2018)

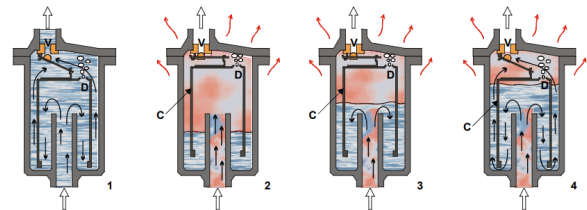


Figura no.3 Ejemplificación de una trampa de vapor de cubeta invertida (Bitherm group)

Las trampas de vapor deben de ser instaladas en las tuberías antes de su uso en los equipos consumidores de vapor, estas deberán colocarse de forma que se tenga fácil acceso a las mismas para poder darles un mantenimiento correcto y así aumentar la eficiencia del sistema.

Dado que las trampas de vapor tienen la función de retención y correcta separación de vapor y de condensado permiten que la calidad del vapor se mantenga alta para un funcionamiento correcto de los equipos consumidores de vapor, y a través de la red de distribución de vapor, por lo que la gestión energética que se consigue con estos accesorios es significativa en el proceso del uso de vapor para algún proceso general. Sin embargo, el uso incorrecto de las trampas de vapor puede llegar a afectar al sistema de forma negativa e inclusive destructiva, por lo que se debe de tener cautela con los golpes de ariete y sobrepresiones cercanas a válvulas.

Golpe de ariete en tuberías de vapor

El golpe de ariete en una tubería de vapor es un fenómeno producto de la sobrepresión o la subpresión que se manifiesta en las tuberías de vapor, en válvulas un cierre abrupto produce un golpe de ariete positivo, mientras que un cierre de válvula abrupto produce un golpe de ariete negativo. (Toledo López, 2009)

Gestión energética en redes de distribución de vapor en industrias de proceso

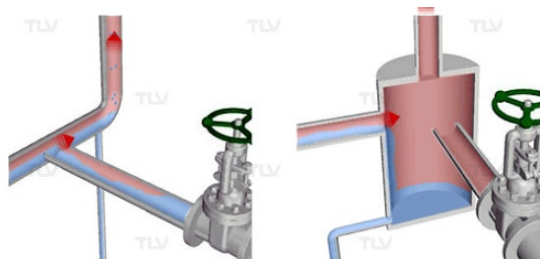


Figura no.4 Golpe de ariete en líneas de distribución de vapor (TLV Engineering SA, 2021)

En las tuberías de vapor, el golpe de ariete es producido cuando hay presencia de condensado, dado que el vapor se desplaza a una gran velocidad, el condensado con mayor densidad también se desplaza a alta velocidad, por lo que en dado caso existiera un giro, interrupción, o alguna intersección en la tubería de vapor, el vapor y condensado producen un golpe de ariete en dicha intersección lo que causa en ciertos casos la destrucción o daño severo en la tubería.

Por lo que, cuando se diseña o implementa un sistema de distribución de vapor, debe de tenerse en cuenta un drenaje adecuado, es decir, el drenaje adecuado de condensado en las líneas de vapor antes de que este se acumule lo suficiente para aumentar su velocidad e igualar la del vapor por lo que aumenta la significancia de la implementación correcta de las trampas de vapor. Otras formas de prevenir el golpe de ariete en el sistema de vapor pueden ser las siguientes:

Periodo de tubería:

El periodo de tubería es el tiempo en el cual la onda de sobrepresión toma en ir y regresar de una extremidad a otra en una tubería, esto es dado generalmente entre el cierre de una válvula y el tanque de carga, este es dado mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{2L}{C}$$

Siendo

T: el periodo de la tubería, tiempo máximo de reflexión de la onda de sobrepresión

L. longitud de tubería

C: celeridad

Tiempo de cierre:

Consiste en el tiempo en el cual se cierra una válvula, en la práctica este cierre es de forma gradual con el objetivo de que la sobrepresión no se presente en un

frente brusco, sin embargo, el incremento final de la presión llega a ser el mismo a no ser de que haya tiempo suficiente para que la sobrepresión inicial viaje hasta la carga y regresen, la presión máxima es menor con un cierre gradual que con un cierre abrupto, por lo que es un parámetro de significancia en la prevención de los golpes de ariete.

Sobrepresión:

El fenómeno de sobrepresión es producido cuando las partículas de fluido (en este caso condensado) que contienen una cantidad alta de inercia se detienen abruptamente por alguna intersección o cierre brusco de válvulas, por lo que generalmente se realiza un cálculo de sobrepresión máxima tolerada en una tubería por medio de la siguiente expresión:

Para medir la sobrepresión máxima en el cierre lento o total de la válvula se pueden utilizar la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \lambda \frac{\rho l v}{t_c}$$

Siendo:

ΔP = sobrepresión

ρ = densidad del líquido

v = velocidad del líquido

l = longitud de tubería

λ = coeficiente que cuenta el efecto de la elasticidad en la tubería

Otras formas de disminuir o prevenir los golpes de ariete en el sistema son los siguientes:

Evitar modificaciones bruscas del recorrido de vapor en el sistema, dado que evita puntos de sobrepresión innecesarios en el mismo.

Instalación de válvulas de control en la tubería de vapor.

Instalación correcta de cajas recolectoras de vapor. (San Juan, 2016)

Manifold

Un manifold es una tubería especial de distribución en donde pueden unirse diferentes fuentes de vapor, visualmente se presenta como una tubería horizontal en donde se alimenta vapor por la parte superior de esta, y al mismo tiempo distribuye el vapor por las tuberías principales de la red de distribución de vapor hacia los diferentes equipos consumidores de vapor.

Gestión energética en redes de distribución de vapor en industrias de proceso

Debido a esto es fundamental en la red de distribución de vapor, e inclusive para mantener la calidad del mismo cuando es distribuido.

Hasta cierto punto puede verse como un tanque de vapor, puesto que permite que la presión sea continua, un manifold debe de tener las siguientes características para un correcto funcionamiento:

Separador de humedad: como su nombre lo indica, debe de ser capaz de separar el vapor de alta calidad de los condensados formados en la salida de la caldera, concepto derivado de las trampas de vapor, ya que se busca un vapor seco para su distribución. Entonces al llegar al manifold los condensados se quedarán en el fondo del mismo y serán eliminados a través de una bolsa colectora y el paquete de trampeo instalado.

Acumulador de vapor: Teniendo un manifold antes de las áreas de consumo de vapor se puede garantizar que primero se llene este espacio y después de esto se pueda dirigir el vapor poco a poco hacia los consumidores. Para que así el manifold sirva como una especie de *colchón de vapor* y que evite los efectos de golpe de ariete.

Distribuidor: El manifold se debe utilizar para repartir a las áreas de consumo el vapor que es recolectado por los calderos. Lo que es ideal en estos casos es que se diseñe de tal manera que las entradas de vapor del caldero al manifold sean las de mayor diámetro y que las de las salidas de vapor sean dimensionadas de acuerdo al consumo de cada área. Facilitador: Contando con la salida de vapor hacia los consumidores, el manifold puede servir como un facilitador para el control de suministro o cierre de vapor para áreas determinadas. (IPS ingenieros, 2021)

EQUIPOS CONSUMIDORES DE VAPOR

Para un correcto aprovechamiento del vapor suministrado a los equipos este debe estar seco, por lo tanto, en la mayoría de equipos consumidores de vapor cuentan en la entrada con estaciones de trampeo. Así mismo, a la salida se debe de instalar también una trampa de vapor con tal de recolectar el condensado y entregarlo a la red de recuperación de condensado, sin dejar pasar vapor vivo.

El vapor es ampliamente usado en varias industrias. Entre las aplicaciones más típicas o comunes del vapor en la industria se pueden encontrar:

- Esterilización / calentamiento
- Impulso / movimiento
- Atomización

- Limpieza
- Humidificación

Consideraciones para disminuir las pérdidas de energía o consumo de vapor

Como bien se puede intuir el consumo de vapor está relacionado con la energía requerida para el proceso, así como la misma energía que se pierde. Esto se debe que, al haber problemas en la transferencia de calor o energía del equipo consumidor al producto a tratar, se tendrá que consumir más combustible, así como suministrar mayor cantidad de vapor con tal de cumplir con los requisitos establecidos.

Para garantizar que los equipos que utilizan vapor funcionen de la forma más eficiente y consuman la menor cantidad de energía posible, las plantas deben garantizar lo siguiente (TLV Engineering S.A, s.f.):

- Que el equipo alcance la temperatura requerida en un tiempo determinado
- Que el vapor mantenga la presión y la temperatura adecuada mientras transfiere el calor al producto
- Que se utilice vapor de alta calidad
- Que se mitiguen las condiciones que restrinjan la transferencia de calor, como puede ser la eliminación de condensado y el aire dentro del equipo

Entre algunas consideraciones para atacar la pérdida de energía es cuando por períodos largos de tiempo el equipo deja de funcionar, cerrar las válvulas que suministren vapor al mismo, esto con el fin de evitar una pérdida de presión y energía del vapor al pasar por el equipo. Pero hay que considerar de igual manera que si el tiempo de paro del equipo no es muy prolongado estudiar la viabilidad de mantener dichas válvulas abiertas con tal de que mantengan el equipo a cierta temperatura, esto con el propósito que al momento de arranque no sea necesario consumir mucha energía para llevar el equipo a la temperatura de operación.

Otro factor a considerar es que el vapor de alimentación al equipo sea un vapor seco, ya que en el proceso transcurso de las líneas de tuberías el vapor irá perdiendo energía y sufrirá condensación, lo que podría afectar al equipo (TLV Engineering S.A, s.f.).

Además de un vapor seco, hay que proporcionar un vapor libre de impurezas, lo cual es necesario a partir de un buen sistema de tratamiento del agua para ser evaporada, debido a que, al emplear agua con

Gestión energética en redes de distribución de vapor en industrias de proceso

niveles inapropiados de metales pesados, minerales entre otros puede generar incrustaciones o ensuciamiento en las superficies donde se realizará la transferencia de calor. Esto será debido a que las incrustaciones afectarán el lugar donde se realizará dicha transferencia y lo que generará mayores pérdidas de energía y consumo de vapor.

Hay que considerar también la eliminación del aire dentro del equipo, debido a que ocupará un espacio destinado al vapor, lo que también provocará que se caliente dicho volumen de aire perdiendo energía a un fluido no deseado. Por esto mismo es importante contar con sistemas de venteo de aire en los equipos, con la finalidad de eliminar el aire atrapado en los lugares donde debería ser ocupado por el vapor.

Vapor flash y la pérdida de energía

El vapor flash se origina cuando un condensado a una alta presión se libera a una presión más baja, esto causa que parte de esos líquidos se vuelvan a evaporar debido a la pérdida de calor sensible que pasa a formar o ser absorbido como calor latente, lo que origina una cantidad del condensado se convierta en vapor (Roca, 2007).

Debido a que en muchos equipos luego del proceso o la transferencia de energía del vapor al proceso se produce la condensación del vapor, por lo que a su salida parte de este es recolectado por trampas de vapor, pero una parte de este vapor es perdido al ambiente, lo que se traduce en una pérdida de energía.

Para poder realizar el cálculo del porcentaje del condensado que se convertirá en vapor flash se puede calcular por medio:

$$\%Vapflash = \frac{S_A - S_B}{LL} * 100$$

Siendo:

SA: calor sensible del condensado a alta presión, antes de ser descargado

SB: calor sensible del condensado a baja presión, a la cual se descarga

LL: calor latente del vapor a baja presión, a la cual se descargó

Una forma de poder determinar analíticamente el porcentaje de vapor flash que se forma cuando se descarga condensado a una presión menor es con la siguiente figura:

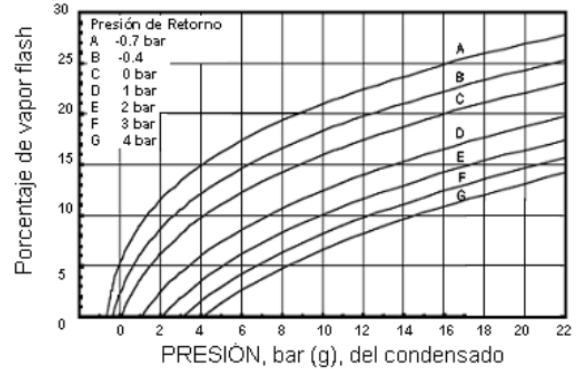


Figura no. 5 Porcentaje de vapor flash que se forma cuando se descarga condensado a una presión menor (Armstrong International, Inc)

Cálculo del consumo de vapor en algunos equipos:
Autoclave (esterilizador industrial):

Energía requerida para la esterilización:

- a. Energía o calor requerida para el producto

Para esto se tomará los datos del producto a esterilizar, tanto la base de producción diaria (m) como el calor específico del producto mismo (cp). Por medio de esta energía será la requerida para llegar a la temperatura de esterilización (Bellasmil, 2015):

$$Q_p = KA\Delta T$$

- b. Calor perdido por radiación y convección en el equipo.

En el caso en que se asume una autoclave con paredes adiabáticas aisladas, se tomará en cuenta que por las tapas anterior y posterior habrá pérdida de energía, con lo cual por medio de la ecuación de Fourier en estado estacionario se calculará el mismo (Bellasmil, 2015):

$$Q_{pe} = KA\Delta T$$

Donde

K: es la conductividad térmica del material de la autoclave

A: el área de la superficie sin aislante

ΔT : la diferencia de temperaturas (interior y exterior de la autoclave).

- c. Energía total

Ya con haber obtenido las cantidades del inciso a y b se obtendrá el consumo total de calor o energía (Bellasmil, 2015):

Gestión energética en redes de distribución de vapor en industrias de proceso

$$Q_T = Q_p + Q_{pe}$$

Ya obtenida la cantidad necesaria de energía para el proceso se podrá determinar el consumo de vapor requerido para el equipo de esterilización (Bellasmil, 2015).

$$W = \frac{Q_T}{h_g}$$

Siendo:

W: vapor requerido para el proceso (kg/h)

hg: entalpía de vapor a las condiciones de vapor

Cálculo del consumo de vapor en algunos equipos:
Calentadores de almacenamiento de agua caliente

Estos equipos están diseñados para elevar la temperatura de todo su contenido frío a una temperatura de almacenamiento dentro de un período de tiempo específico. Para la determinación de esto se realiza el siguiente procedimiento:

a. Energía requerida

Teniendo el volumen del cilindro y la masa de agua contenida en este, así como el tiempo requerido para calentar la masa de agua requerida se obtendrá la energía requerida (SpiraxSarco, s.f.):

$$E = \frac{mC_p \Delta T}{t}$$

b. Consumo de vapor

Con los datos obtenidos anteriormente sólo faltaría la entalpía de evaporación (hg) a las condiciones del vapor (SpiraxSarco, s.f.):

$$m_{vap} = \frac{E}{h_g}$$

CONCLUSIONES

Las partes principales en una red de distribución de vapor son: generador de vapor o caldera, sistema de distribución de tuberías de vapor, accesorios de tuberías de vapor y equipos consumidores de vapor.

En un generador de vapor se debe tener en cuenta la eficiencia de combustión y de caldera para una mejor eficiencia energética, así como las formas de recuperación de calor en un generador de vapor son

por medio del precalentador de aire, economizador y manejo de la purga.

Para un sistema de tuberías el dimensionamiento de los mismos influye no solamente en las pérdidas energéticas sino económicas.

Los accesorios en el sistema de distribución de vapor son fundamentales para aspectos energéticos sino para la prevención de fenómenos como sobrepresión y golpes de ariete, además de mantener una alta calidad de vapor.

Los equipos consumidores de vapor deben tener en cuenta aspectos como eliminación de aire, pérdidas energéticas, producción de vapor flash entre otros.

BIBLIOGRAFIA

- Advanced Manufacturing Office. (2012, Enero). *U.S Department of Energy*. Retrieved from Energy efficiency & Renewable Energy: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/05/f16/steam4_boiler_efficiency.pdf
- Alan Rossiter, B. J. (2019). *Process Energy Management*. John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1002/0471238961.0514051819200509.a01.pub3
- Alfaro, D. A. (2013, 11). Diseño de un sistema de secado a base de vapor para arroz en granza. Ciudad de Guatemala, Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Armstrong International, Inc. (n.d.). *Armstrong International*. Retrieved Septiembre 1, 2021, from <https://www.armstronginternational.com/files/products/traps/pdf/n101spanish.pdf>
- Bellasmil, J. J. (2015, Octubre). Disminución de los costos de producción de conservas de atún optimizando el uso de vapor. Universidad Nacional de Trujillo.
- Bitherm group. (n.d.). Manual de vapor, purgadores y trampas de vapor. Madrid, España.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de Calor y Masa - Fundamentos y Aplicaciones*. México: Mc Graw Hill.
- Coulson, J., Richardson, J., Backhurst, J., & Harker, J. (2004). *Chemical Engineering* (Vol. 1). Great Britain: Elsevier. Obtenido de 0 7506 4444 3
- Eberhard, F. (2012). *Comparativa de caldera pirotubular y caldera acuotubular*. Bosch Industriekessel. Retrieved from

Gestión energética en redes de distribución de vapor en industrias de proceso

- https://www.bosch-industrial.com/files/fb013_sp.pdf
- Ganapathy. (1988). *Applied Heat Transfer*. EEUU: PennWell. Retrieved from 0 87814 182 0
- Geankoplis, C. (2003). *Transport Processes and Separation Process Principles* (Fourth ed.). Delhi: PHI Learning. Obtenido de 978 81 203 2614 9
- IPS ingenieros. (2021). *Importancia y Dimensionamiento de Manifold de Vapor*. Retrieved Agosto 24, 2021, from IPS ingenieros: <https://ipsingenieros.com/2020/12/11/importancia-y-dimensionamiento-de-manifold-de-vapor/>
- J.B. Kitto, S. S. (2005). *Steam, its generation and use*. (Vol. 41st). Ohio, United States: The Babcock & Wilcox Company.
- López, P. (2017). *Evaluación de la eficiencia de generadores de vapor, Estudio de caso: ECOPETROL S.A.* Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- McCabe, W., C. Smith, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química* (Séptima ed.). China: Mc Graw Hill. Retrieved from 0-07-284823-5
- Palacios J.L, P. A. (2015). Técnicas de Gestión Energética en Sistemas de Vapor. *Revista Politécnica*, 32(3).
- Roca, S. M. (2007, Octubre). Beneficios en sistemas de vapor por medio de una correcta instalación y selección de trampas. Ciudad de Guatemala, Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- San Juan, D. (2016, Abril 4). *Golpe de ariete*. Retrieved Agosto 20, 2021, from 0grados: <https://0grados.com.mx/golpe-de-ariete-consecuencias-y-prevenciones/>
- Spirax sarco. (n.d.). *Spirax Sarco, first for steam solutions*. Retrieved from <http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/INSTALACIONES%20TERMICAS%20MECANICAS%20Y%20FRIGORIFICAS/material/apuntes/01-Distribucion%20de%20Vapor%20-%20Spirax%20Sarco.pdf>
- SpiraxSarco. (n.d.). Retrieved Septiembre 2, 2021, from <https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/steam-engineering-principles-and-heat-transfer/steam-consumption-of-plant-items>
- TLV Engineering S.A. (n.d.). *TLV*. Retrieved Septiembre 1, 2021, from <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/steam-equipment-energy-saving-tips.html>
- TLV Engineering SA. (2021). *Golpe de Ariete en Líneas de Distribución de Vapor*. Retrieved from <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/waterhammer-steam-distribution-lines.html#>
- Toledo López, A. F. (2009, Agosto). *Estudio y experimento del fenómeno de golpe de ariete, debido a cierre de válvulas, para el laboratorio de hidráulica*. doi:08_3018_C
- Vega. (2018). *Aplicaciones de diferentes tipos de trampas de vapor*. Retrieved Agosto 2021, from TLV: <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/steam-trap-varieties-and-applications.html>
- CII. (2019). Reduccion de Facturacion de Combustibles Fosiles a Traves del Uso Racional de la Energia . Washington D.C. : NDF.
- Djayanti, S. (02 de Diciembre de 2019). e3s-Conferences. Obtenido de https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/5/1/e3sconf_icenis2019_12002.pdf
- International, M. (-). Guia para la Evaluacion de Elegibilidad de Financiacion de Proyectos de Eficiencia Energetica . Los Angeles de Chile : CAF.
- Muñoz, M. (2015). Guia Para Determinar y Reducir Perdidas de Energia en Generadores de Vapor. Guatemala: CENGICAÑA.
- Sarco, S. (2010). La Industria Lactea, Sistemas de Vapor y Condensado. Madrid: ESP.
- TetraPak. (06 de Julio de 2019). TetraPak. <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/service-systems>
- Vasquez, E. A. (2005). Eficiencia de la Caldera Piro-tubular Colmaquinas de 250 BHP de un Laboratorio Farmaceutico . Santiago de Cali: Departamento Energetico y Mecanica .