

GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS EN EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA SISTEMAS DE VAPOR



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

PROGRAMA DE USAID DE EXCELENCIA
AMBIENTAL Y LABORAL PARA CAFTA-DR

JUNIO 2011

La elaboración de este material ha sido auspiciada por el Pueblo de los Estados Unidos a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). El contenido de este informe es responsabilidad de Chemonics International Inc. y su subcontratista Consultoría y Servicios en Tecnologías Eficientes, S.A. de C.V. (CySTE), y no necesariamente refleja la opinión de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos.



Agradecimientos

La presente guía está dirigida al personal técnico con responsabilidad en las áreas operativas o de mantenimiento del sistema de vapor utilizado en la industria, con el propósito de presentar acciones de ahorro de energía encaminadas a reducir el consumo de combustible y, en consecuencia, una reducción en los costos de operación, y en la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Además, dichas recomendaciones, aquí vertidas, son de fácil ejecución, por lo que las empresas no tendrán problemas en llevar a cabo la implementación de las mismas.

El contenido de esta guía es responsabilidad de Chemonics International Inc. y su subcontratista Consultoría y Servicios en Tecnologías Eficientes, S.A. de C.V. (CySTE), y no necesariamente refleja la opinión de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos.

Participaron en la elaboración de la presente guía por parte del Programa de USAID de Excelencia Ambiental y Laboral para CAFTA-DR (el Programa):

Ing. Salvador Vega Prado L, Especialista en Producción Más Limpia
Lic. Carlos Enrique Arze, Asesor experto en Producción Más Limpia

Por la empresa Chemonics International Inc., a través de CySTE:

Ing. María del Carmen Botello García
Ing. Rufino Demillón Pascual
Ing. Moisés Ángel Lino Linares
Ing. Ignacio Sánchez Rosales
Ing. Rubén Torres Gutiérrez

La distribución, reproducción o consulta del presente documento por terceros deberá ser autorizada por las partes que participaron en su elaboración: la Empresa Consultora Chemonics International Inc. y CySTE, así como la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

Índice de Contenido



1	ANTECEDENTES.....	i
2	INTRODUCCIÓN.....	ii
3	OBJETIVOS Y ALCANCES.....	1
4	CONCEPTOS BÁSICOS.....	3
4.1	VAPOR Y SUS CARACTERÍSTICAS.....	3
4.2	SISTEMA DE VAPOR.....	5
4.3	GENERADORES DE VAPOR.....	7
5	MEJORES PRÁCTICAS EN AHORRO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE VAPOR.....	9
5.1	INSTALACIÓN DE AISLAMIENTO TÉRMICO EN TUBERÍAS CALIENTES.....	10
5.2	INSTALACIÓN DE AISLAMIENTO TÉRMICO EN TANQUES O RECIPIENTES CALIENTES.....	15
5.3	INSTALACIÓN DE AISLAMIENTO TÉRMICO EN VÁLVULAS Y BRIDAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR.....	19
5.4	REDUCIR U OPTIMIZAR EL EXCESO DE AIRE PARA LA COMBUSTIÓN.....	22
5.5	REPARACIÓN DE FUGAS DE VAPOR.....	26
5.6	RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS DE VAPOR.....	30
5.7	RECUPERAR EL CALOR DE PURGA DE LA CALDERA.....	34
5.8	MINIMIZAR PURGAS DE LAS CALDERAS.....	37
5.9	CORRECTA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS TRAMPAS PARA CONDENSADOS.....	41
5.10	REDUCIR LA PRESIÓN DEL GENERADOR DE VAPOR.....	49
5.11	DESINCRUSTACIÓN EN TUBERÍAS INTERNAS EN LA CALDERA.....	50
6	BIBLIOGRAFÍA.....	55

Índice de Tablas



TABLA 1.	MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA QUE PERMITEN MEJORAR LA EFICIENCIA.....	9
TABLA 2.	PÉRDIDAS DE CALOR POR CADA METRO DE TUBERÍA DE VAPOR SIN AISLAMIENTO TÉRMICO	13
TABLA 3.	MATERIALES TERMOAISLANTES, INFORMACIÓN GENERAL Y RANGO DE TEMPERATURA DE USO.....	14
TABLA 4.	AHORRO DE ENERGÍA CON LA INSTALACIÓN DE AISLAMIENTO DESMONTABLES EN VÁLVULAS.....	22
TABLA 5.	EXCESO DE AIRE RECOMENDADO PARA LA COMBUSTIÓN, EN FUNCIÓN DEL TIPO DE COMBUSTIBLE.....	23
TABLA 6.	LISTA DE ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN EL AJUSTE DE LA RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE.....	25
TABLA 7.	PÉRDIDA DE VAPOR (MÉTODO POR ALTURA DE PLUMA).....	28
TABLA 8.	LISTA DE ACTIVIDADES PARA LA REPARACIÓN DE FUGAS DE VAPOR.....	29
TABLA 9.	DIMENSIONES DEL POZO/PIERNA DE GOTEÓ.....	33
TABLA 10.	TASA DE RECUPERACIÓN DE CALOR POR PURGAS CONTINUAS, DE SUPERFICIE DE CALDERAS.....	35
TABLA 11.	LISTADO DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR DE PURGA DE CALDERA.....	36
TABLA 12.	VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES DE ACUERDO CON LA ASOCIACIÓN AMERICANA DE FABRICANTES DE CALDERAS.....	38
TABLA 13.	VALORES PARA UNA CALDERA DE TUBOS DE HUMO, MARCA CLEAVER BROOKS, PRESIÓN 0-300 PSIG.....	38
TABLA 14.	CUADRO RESUMEN DEL USO DE LAS TRAMPAS.....	44
TABLA 15.	LA PÉRDIDA DE VAPOR POR ORIFICIOS DE TRAMPAS QUE FALLAN ABIERTAS.....	46
TABLA 16.	LISTA DE ACTIVIDADES PARA MONITOREAR LA CORRECTA OPERACIÓN DE LAS TRAMPAS PARA CONDENADOS.....	48
TABLA 17.	PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR INCRUSTACIONES.....	52
TABLA 18.	LISTA DE ACTIVIDADES A DESARROLLAR PARA DISMINUIR LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES EN LA CALDERA	53



Índice de Ilustraciones

ILUSTRACION 1.	ESCALAS DE TEMPERATURA.....	3
ILUSTRACION 2.	ESQUEMATIZACIÓN BÁSICA DE UN SISTEMA DE VAPOR.....	6
ILUSTRACION 3.	PRINCIPALES COMPONENTES EN EL CUARTO DE CALDERAS.....	8
ILUSTRACION 4.	TUBERÍAS SIN AISLAMIENTO.....	11
ILUSTRACION 5.	VISTAS DE LA PROTECCIÓN DEL AISLAMIENTO TÉRMICO EN TUBERÍAS Y ESQUEMATIZACIÓN DEL AISLAMIENTO TÉRMICO EN VENAS DE VAPOR.....	12
ILUSTRACION 6.	TANQUES Y SUPERFICIES CALIENTES SIN AISLAMIENTO TÉRMICO.....	16
ILUSTRACION 7.	APLICACIÓN DE AISLAMIENTO TÉRMICO EN TANQUE CALIENTE.....	17
ILUSTRACION 8.	ALGUNOS TIPOS DE AISLANTES TÉRMICOS PARA SUPERFICIES CALIENTES.....	18
ILUSTRACION 9.	VÁLVULAS SIN AISLAMIENTO TÉRMICO.....	20
ILUSTRACION 10.	AISLAMIENTO EN FORMA DE ALMOHADILLAS Y MANTAS.....	20
ILUSTRACION 11.	VÁLVULA SIN Y CON AISLAMIENTO TÉRMICO DESMONTABLE.....	21
ILUSTRACION 12.	SALIDA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE LA CHIMENEA CON UN NIVEL BAJO DE AIRE Y MEDICIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN EN LA CHIMENEA.....	23
ILUSTRACION 13.	FUGA DE VAPOR FLASH Y VAPOR VIVO.....	27
ILUSTRACION 14.	PUNTO DONDE SE DESECHA EL CONDENSADO.....	31
ILUSTRACION 15.	ESQUEMATIZACIÓN DE UN CIRCUITO DE VAPOR.....	31
ILUSTRACION 16.	CABEZAL DISTRIBUIDOR DE VAPOR CON SISTEMA DE DRENADO DE CONDENSADO.....	32
ILUSTRACION 17.	POZO/PIERNA DE GOTEO EN LÍNEA PRINCIPAL DE VAPOR.....	32
ILUSTRACION 18.	TRAMPA DE CUBETA INVERTIDA CON ELIMINADOR DE AIRE EN PARALELO.....	33
ILUSTRACION 19.	SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR DE PURGA DE CALDERA.....	36
ILUSTRACION 20.	SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE PURGA DE CALDERA.....	40
ILUSTRACION 21.	TIPOS DE TRAMPAS PARA CONDENSADOS.....	43
ILUSTRACION 22.	SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE PURGA DE CALDERA.....	47
ILUSTRACION 23.	INCRUSTACIONES FORMADAS EN TUBERÍAS INTERNAS DE UNA CALDERA.....	51

Dentro del marco del “Programa de USAID de Excelencia Ambiental y Laboral para CAFTA-DR” (el Programa), implementado por Chemonics International y como parte del “Proyecto de Eficiencia Energética en el Área Térmica”, dirigida al sector industrial pertenecientes a la región de Centro América, se realizó la presente guía que describe e ilustra las buenas prácticas para el ahorro de energía enfocadas a los sistemas de vapor (generación, distribución y usos del vapor), con el propósito de volver más eficientes estos sistemas mediante la implementación de mejoras de eficiencia energética, las cuales son expuestas de una manera clara y sencilla a través del presente documento.

Como resultado de la ejecución de estas acciones, se obtendrán mejoras en la empresa, incrementando su competitividad al reducir los costos directos derivados de la compra de combustible fósil, así como al mejorar la eficiencia en las instalaciones. A la par, se espera reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos, tanto locales como los Gases de Efecto Invernadero.

Una característica importante de la presente guía es, que es aplicable y accesible a un rango muy amplio de empresas, que van desde pequeñas hasta grandes empresas. Complementario a lo anterior, la guía puede ser aplicada, tanto por personal de mantenimiento, personal involucrado en producción, como por personal de ingeniería.

Uno de los medios de transmisión de calor más usados en la industria es el vapor de agua, esto debido a la facilidad en su producción (generación) transporte y manejo, por ello, también es usado en la generación de energía eléctrica. Sin embargo, y a pesar de su fácil manejo, su uso llega a presentar ineficiencias, que se traducen en un mayor consumo de combustible y, por ende, en sobre costos en los procesos productivos. Si aunado a esto se tiene presente que cada día el costo de los energéticos (combustibles fósiles) es cada vez mayor, entonces el ahorro de la energía toma una relevancia ante las empresas, como una estrategia para reducir sus costos operativos.

Es sencillo inferir que, el utilizar (quemar) una mayor cantidad de combustible para realizar el mismo servicio, implica una problemática ambiental, toda vez que se emite una mayor cantidad de gases contaminantes, de carácter local y de alcance global como son los Gases Efecto Invernadero (GEI). Por esta razón, reducir el consumo de combustibles (sin afectar los volúmenes de producción, ni la calidad del producto), también es una responsabilidad social y ambiental de las empresas.

En suma, el ahorro de energía o la eficiencia energética como también es conocida, busca reducir, tanto los costos de las empresas, como mitigar los impactos negativos al ambiente, esto mediante la implementación de una serie de recomendaciones que han sido observadas, analizadas y documentadas, en la región centroamericana, las cuales tienen inversiones que van desde nulas, bajas, medianas hasta altas, las que tienen que ser programadas por las empresas.

En la experiencia del Programa, bajo el “Proyecto de Eficiencia Energética en el Área Térmica”, llevado a cabo entre 2009 y 2010, las medidas de ahorro de energía en las áreas de vapor que se han encontrado, tienen potenciales de ahorro en la generación y distribución de vapor, que van desde el 1% hasta el 35% del consumo de combustible.

La presente guía ha sido desarrollada por técnicos especialistas en el tema y tiene el objetivo de servir como una referencia en la implementación de medidas de ahorro de energía en los generadores de vapor, las redes de distribución de vapor y el retorno de condensados.

En virtud de lo anterior, la “Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética para los Sistemas de Vapor” recopila y presenta aquellas acciones más frecuentes, que se pueden emprender en la industria para reducir el consumo de energía, utilizándola de manera eficiente, lo cual conllevará a un menor impacto ambiental.

El objetivo principal de la presente guía es exponer una serie de recomendaciones de buenas prácticas (operativas, de mantenimiento o de mejora en las instalaciones), que fueron identificadas, evaluadas y que en una gran mayoría, fueron implementadas por un grupo de empresas diagnosticadas en la región centroamericana. Las recomendaciones y prácticas recogidas en este documento, permitirán a otras empresas implementarlas, para mejorar el uso de la energía y, con ello, reducir el consumo de combustible, así como la generación de contaminantes atmosféricos.

Con el cumplimiento de este objetivo, los beneficios que se esperan alcanzar son:

- Reducir el consumo de combustible;
- Disminuir los costos en el uso de combustible;
- Incrementar la productividad;
- Alcanzar menores tiempos de producción;
- Prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones;
- Mejorar las condiciones de seguridad;
- Reducir la emisión de contaminantes atmosféricos (gases de combustión);

La guía está elaborada con un lenguaje sencillo, esto no implica que deje de tener la rigurosidad técnica que amerita un documento de este tipo. Por ello, la guía podrá ser utilizada tanto por el personal de mantenimiento, de producción (procesos) o de ingeniería. En este sentido, ingenieros, técnicos, como operarios podrán interpretar e implementar las recomendaciones que en este documento se vierten.

Por otro lado, si bien, las recomendaciones son de carácter general, se recuerda que siempre se deberá tomar en cuenta las sugerencias y las observaciones que indiquen los fabricantes de los equipos en cuestión, ya que éstos conocen en mayor detalle las particularidades de los equipos y sistemas. Por esta razón, se recomienda que nunca se deje de consultar a los técnicos especialistas.



A continuación se presentan los conceptos básicos, que se requieren para la correcta interpretación de la guía; En primera instancia se presenta a groso modo el tema de la eficiencia energética en el área térmica; posteriormente se dan los tópicos más relevantes de vapor con el objetivo de sentar las bases para la correcta comprensión de la guía. Por ello, en otra sección se exponen los elementos que componen el sistema de vapor, desde la generación hasta su distribución y retorno de condensados.

4.1 Vapor y sus características

El vapor de agua¹ es el fluido térmico más utilizado en la industria debido a dos de sus principales características:

- a) Facilidad de almacenar y entregar energía, tanto térmica, como cinética;
- b) Simplicidad de transporte y control, ya que únicamente requiere de tuberías que lo conduzcan y elementos que regulen su presión.

Estas dos características, hacen del vapor de agua un fluido muy manejable, ya que mediante su presión dinámica, éste puede ser conducido con facilidad a grandes distancias, así como en flujos variables.

Antes de definir algunas propiedades del vapor, a continuación se presentan algunos conceptos básicos que facilitarán la comprensión del manejo del vapor.

Concepto de temperatura

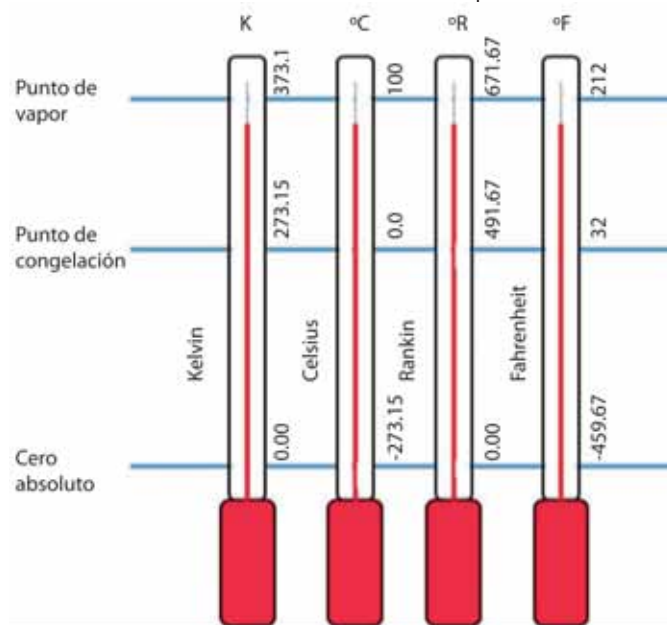
La temperatura es una magnitud física que indica qué tan caliente o frío puede estar un cuerpo sólido, un líquido o un gas, ésta se mide mediante un termómetro. Su funcionamiento se basa en que cuando dos cuerpos están en contacto a distintas temperaturas, después de cierto tiempo se alcanza la misma temperatura en ambos, registrándose en el termómetro la temperatura del primero.

De acuerdo al sistema de unidades (internacional o inglés) existe una escala de registro de la temperatura.

En el caso del sistema internacional se utilizan los grados centígrados (°C) y para la temperatura absoluta los grados Kelvin (°K). Mientras que en el sistema inglés, la temperatura es medida en grados Fahrenheit (°F) y la escala absoluta son los grados Rankin (°R).

Para mostrar las cuatro escalas, en la Ilustración 1 se presentan cada una de ellas. En donde se observan tres referencias basadas en el agua y que son la temperatura de evaporación, el punto de congelación y el cero absoluto, que en cada una de las cuatro escalas corresponde a valores diferentes.

Ilustración 1. Escalas de Temperatura



Concepto de presión

La presión es la fuerza ejercida por un fluido en la unidad de superficie de las paredes del recipiente que lo contenga. Esta se mide por medio de un manómetro.

¹ El vapor tiene dos energías, la primera es una energía que es utilizada para intercambiar calor, o sea, el vapor transporta calor y lo puede ceder a otro fluido o proceso que lo requiera. Además, el vapor posee energía cinética (energía de movimiento), que le permite moverse con facilidad y a grandes velocidades, que se puede aprovechar para mover diferentes tipos de equipos, como ejemplo, el vapor puede mover una turbina para generar energía eléctrica.

Las unidades de la presión están dadas en (kg/cm^2 , lb/pulg^2 (psi), bar y atmósfera entre las más usadas). Los manómetros miden la presión manométrica, es decir, la presión arriba de la presión atmosférica.²

Para obtener la presión absoluta hay que sumar a la lectura del manómetro, la presión atmosférica. Cabe mencionar que la presión atmosférica debe de ser la del lugar donde se han realizado las mediciones. La presión se mide con un barómetro, o bien, el valor de la presión atmosférica del sitio se lo puede encontrar en los datos locales del servicio meteorológico.

Concepto de calor y de vapor

La sensación de calor o frío es algo tan cotidiano que muchas veces pasa desapercibida. En realidad, ésta es energía de movimiento de las partículas que componen la materia. Gracias al calor que desprenden los combustibles fósiles (energía química transformada en energía térmica,³) el ser humano lo ha utilizado en los vehículos para transportarse, así como en múltiples aplicaciones industriales, entre las que se encuentra la producción de vapor.

Con el propósito de comprender “qué es el vapor” y tener una mayor claridad en la transformación del agua de su estado líquido a su estado de vapor (esto bajo condiciones normales o estándar,⁴) se describe el siguiente ejemplo para ilustrarlo.

Considérese un vaso,⁵ el cual contiene agua. En un inicio dicha agua se encuentra a veinte grados centígrados (fase líquida) en el punto “a”. Si al vaso se le comienza a aplicar calor, la temperatura del agua se incrementa, por lo que el agua está absorbiendo energía, a esto se le conoce como calor sensible.⁶

Al proseguir con el calentamiento al vaso, se llega al punto “b” o al punto “1” sobre la gráfica (ver gráfica 1). Es aquí donde el agua comienza a transformarse de la fase líquida, en la que se encontraba, a vapor, presentándose un burbujeo, el cual es una clara manifestación que, del agua, se desprenden las primeras moléculas en forma de vapor. A partir de este momento y al mantener la aportación de calor, se llega al punto “c”, donde la temperatura dentro del vaso se mantiene constante. Esto es debido a que el agua está absorbiendo energía para cambiar de la fase líquida a la fase gaseosa (vapor). Justamente en el punto “c”, la mitad del agua se ha evaporado y la otra mitad se mantiene en estado líquido.

Siguiendo con la contribución de calor, se llega al punto “d” (o también ilustrado como punto “2” en la línea de la gráfica), donde casi toda el agua líquida se ha evaporizado y la temperatura del agua se mantiene constante, tal y como se puede apreciar en la gráfica, del punto “1” al punto “2”,⁷. Si bien la temperatura no varió, sí hubo un incremento en la energía, ya que fue utilizada en el cambio de la fase líquida a gaseosa. A dicho incremento en la energía se le conoce como calor latente.

Prosiguiendo con el aporte de energía, a partir del punto “d” o “2” de la gráfica, el agua se encuentra totalmente convertida en vapor (lo que se conoce como vapor seco), por lo que al continuar con el aporte de energía, el vapor se manifiesta en un aumento en la temperatura. En este sentido, hay calor sensible. De hecho, si se prosigue dando energía al vapor de agua, se alcanza el punto 3, donde se calienta al vapor, incrementándose su energía, por lo que se obtiene un vapor sobrecalentado.

2 La presión atmosférica es la presión ejercida por el aire atmosférico en un punto de la tierra donde se desee medir, ésta varía de acuerdo a la altura del punto de medición con respecto al nivel medio del mar.

3 Las unidades más comunes utilizadas para la energía térmica son el BTU (British Thermal Unit o Unidad térmica británica), en el sistema inglés, y el Joule (J), en el sistema internacional.

4 Se conoce como condiciones normales o estándar a aquellas condiciones atmosféricas que tienen una temperatura de 20°C (68°F) y una presión absoluta de una atmósfera (14.696 psi).

5 Dentro del vaso se encuentra un termómetro para medir la temperatura del agua en cada momento.

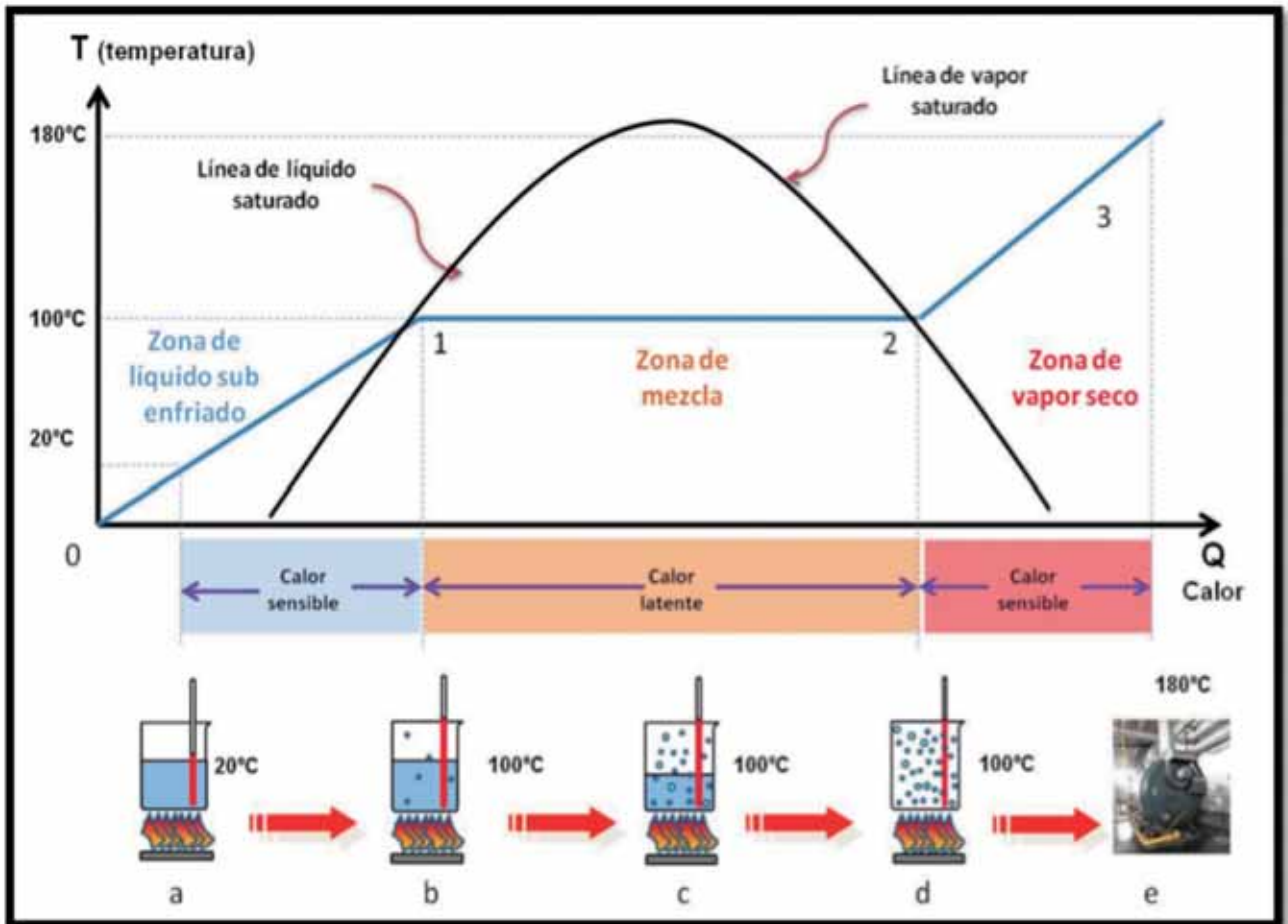
6 El calor sensible es aquella energía térmica que absorbe un cuerpo (en este caso el agua) y se manifiesta en un cambio en su temperatura. Cada vez que se incremente la energía que se aporte al agua, se incrementa la temperatura. Desde el punto “a” al punto “b”, el agua se encuentra en un estado de líquido sub enfriado, ya que en todo momento al darle energía, el agua incrementa su temperatura pero no sufre un cambio de fase.

7 El punto “1” se conoce como líquido saturado y el punto “2” se conoce como vapor saturado. La región entre ambos puntos se conoce como la región de mezcla, por lo que conviven ambas fases.

Cabe señalar que al seguir aportándole energía, en la zona de sobrecalentado, o vapor seco. al mismo tiempo que se incrementa la temperatura del vapor, se incrementa su presión (lo mismo ocurre en la zona de líquido sub enfriado).

Dependiendo de las aplicaciones y usos a los que se destine el vapor, será conveniente o no, incrementar la presión del vapor en la caldera.

Gráfica 1. Temperatura vs. Calor para el agua



Fuente: CySTE

4.2 Sistema de vapor

El vapor de agua tiene como propiedad el acumular una gran cantidad de energía, lo que lo hace ser un excelente fluido transmisor de calor, además de contener energía cinética (de movimiento), por lo que otra ventaja de producir vapor es que no requiere de bombeo, sino que fluye por sí mismo al punto de utili-

zación. Por esto, es necesario contar desde la generación con un sistema de transporte (líneas de vapor) que lo lleven hasta los equipos donde va a ser utilizado y, posteriormente, si el vapor no es mezclado con algún producto (o sea, que no esté contaminado), se retornará su condensado para alimentar de nuevo al generador de vapor, claro, siempre reponiendo la cantidad de agua que se llegue a perder en el ciclo.

Un sistema de vapor,⁸ es como el que se presenta en la Ilustración 2. En ella se aprecia que el sistema se compone de:

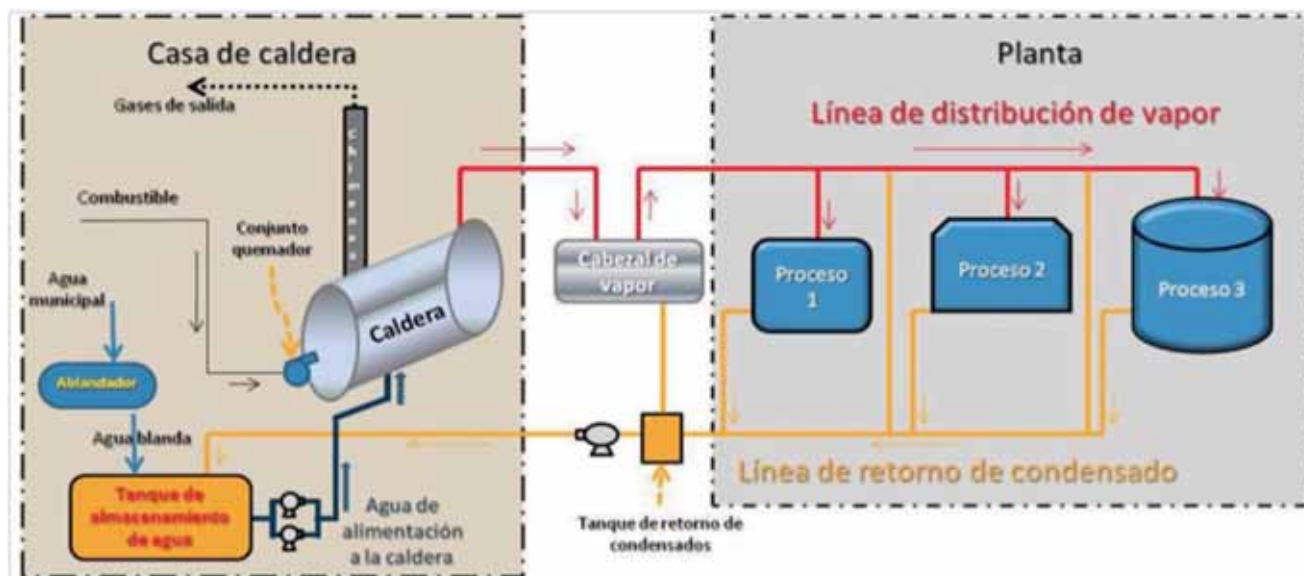
1. Generador de vapor; ⁹ se compone de la caldera y sus equipos auxiliares.
2. Distribución de vapor; está integrado por las tuberías que transportan al vapor desde la generación hasta el usuario, se incluye los cabezales de distribución de vapor, así como otros elementos de control.
3. Usos del vapor; son aquellos equipos y operaciones que utilizan el vapor.
4. Retorno de condensados; este sistema colecta el condensado del vapor tanto de las líneas de vapor como de los equipos que utilizan el vapor.

De la casa de calderas,¹⁰ (donde se produce el vapor), el vapor normalmente se dirige a un cabezal distribuidor de vapor, el cual distribuye el vapor a los diferentes procesos, operaciones o equipos que lo requieran. El vapor se transporta por una o varias líneas de distribución, de la(s) cual(es) se desprenden ramales que alimentan a los equipos.

Una vez que el vapor fue utilizado, se forma el condensado,¹¹ el cual es retirado y colectado mediante una línea de retorno, que llega a un tanque de condensado y es bombeado,¹² al tanque de agua de alimentación a la caldera.

El agua de reposición proviene de un sistema de tratamiento (ablandador) que elimina la dureza del agua, entre otros elementos perjudiciales a la caldera.

Ilustración 2. Esquematización básica de un sistema de vapor



Fuente: CySTE

8 También llamado circuito de vapor.

9 Dependiendo de las necesidades de vapor que demanden los procesos en una planta, puede ser no una sola caldera, sino un parque de calderas.

10 Sitio donde se encuentra la caldera o calderas, así como sus equipos auxiliares.

11 Si el condensado no fue contaminado en el proceso, entonces lo normal es que se recupere para alimentar nuevamente a la caldera.

12 Dependiendo del sistema y de la presión en las tuberías, el sistema de retorno de condensado puede no requerir tanque de retorno de condensado ni bomba.

4.3 Generadores de vapor

Una caldera es un equipo donde se transmite el calor de los gases de combustión hacia el agua que contiene en su interior, para producir vapor. Existen diversas clasificaciones de generadores de vapor de acuerdo a sus diferentes características. La más común, que es la que se utiliza en la presente guía, los clasifica de acuerdo a la forma en que circulan los gases y el agua en sus tuberías.

Calderas pirotubulares. Son aquellas en las que los gases de combustión circulan al interior de los tubos, los cuales se encuentran sumergidos en el agua, la que a su vez se encuentra en un gran recipiente, lo que limita la presión de generación, ya que a mayor presión de la caldera, más gruesas deberían ser las paredes del recipiente y, por lo tanto, más costosas, lo que las haría inviables económicamente. Este tipo de calderas es el llamado tipo paquete. Existen de dos, tres y cuatro pasos. Por lo general son de capacidades bajas y medianas, van desde 20 CC hasta 900 CC.

Calderas acuotubulares. Son aquellas en las que el agua circula al interior de los tubos, mientras que por el exterior pasan los gases de combustión. Este tipo de calderas es de mayor capacidad que las pirotubulares, ya que se pueden lograr presiones más altas que en las calderas pirotubulares, gracias a que el agua/vapor están contenidos en tubos que pueden soportar altas presiones. Las calderas de este tipo son usadas inclusive en la generación de energía eléctrica. Se caracterizan por trabajar a altas presiones, normalmente a más de 15 kg/cm², aunque también las hay de baja presión.

Sistemas principales de una caldera

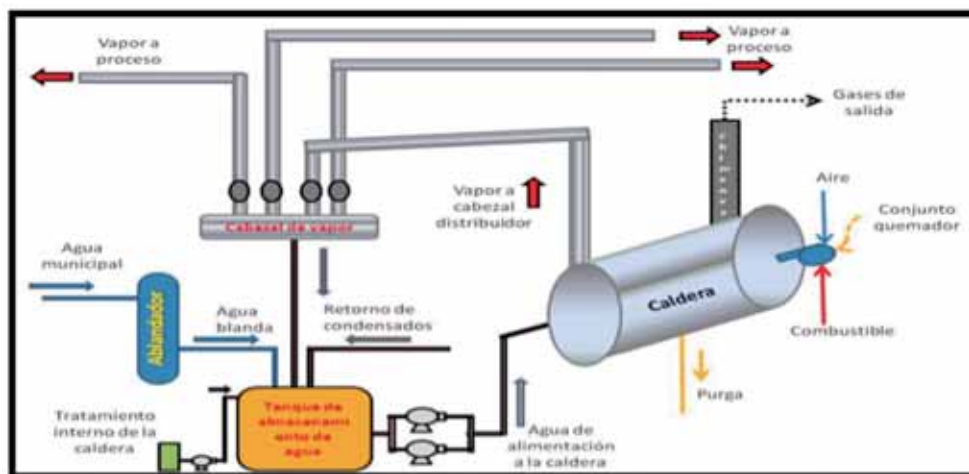
En términos generales, el sistema de generación de vapor se compone de los siguientes elementos:

1. Caldera; es el equipo donde se ingresa agua, además de combustible y se obtiene vapor de agua, así como gases de combustión.
2. Sistema de alimentación de agua a la caldera; este sistema debe estar integrado por: 1) tanque de agua de ingreso a la caldera;¹³ 2) sistema de tratamiento de agua de reposición.¹⁴
3. Hogar de la caldera; es la zona donde se lleva a cabo la combustión y donde se transfiere el calor de la flama a las paredes del recipiente o tuberías que contienen al agua. En el hogar se encuentran los quemadores y es el lugar de mayor temperatura en la caldera.
4. Sistema de alimentación de combustible; los equipos que se requieren se definen en función del tipo de combustible a quemar. Algunos de los combustibles más conocidos/usados son el diesel y el bunker, ambos en estado líquido y el gas LP y el gas natural, ambos en estado gaseoso. También hay combustibles sólidos como el carbón de madera, el bagazo de caña, la cáscara de maní, etc. En general, para combustibles líquidos y gaseosos, siempre se utiliza un conjunto quemador integrado por tuberías donde se transporta y calienta el combustible, y posteriormente se realiza la mezcla del combustible con el aire, en condiciones adecuadas de temperatura y proporciones para asegurar una buena combustión. Para el caso de los combustibles sólidos, como el carbón de madera o el bagazo de caña, se requieren bandas transportadoras para conducir el combustible hasta el hogar, para ser quemado.

¹³ Dicho tanque recibe dos tipos de agua, por una parte llega el agua del retorno de condensados del vapor, y por otra parte, el agua proveniente del sistema de tratamiento de agua. Posteriormente, el agua es bombeada a la caldera; por cuestiones de seguridad se debe contar al menos con dos bombas, una que esté operando, y la otra esté en "stand by", por si la primera llegara a fallar.

¹⁴ Debido a que siempre se pierde agua en el circuito de vapor, es necesario reponerla, esto es mediante agua proveniente de la red municipal (por lo general), a la que se le da un tratamiento para suavizarla (ablandarla) y eliminar impurezas.

Ilustración 3. Principales componentes en el cuarto de calderas



Fuente: CySTE

Capacidad de producción de vapor

La capacidad de producción de vapor de un generador (caldera) se expresa en HP (HP caldera) o Caballos Caldera,¹⁵ (CC), en la cantidad de vapor producido por hora (kg/h ó lb/h). También puede ser expresada en términos de energía, esto es, cantidad de calor absorbido por hora (Btu/h, kcal/h) y, en algunas ocasiones en términos de megawattios (MW) para generadores de vapor de gran capacidad. En otros casos, la capacidad de la caldera se expresa en la superficie de calefacción, ya sea en m² o pie².

La capacidad nominal es el dato de placa que la caldera tiene, ya sea que venga en CC, o bien, especificado en kg/h, ton/h, lb/h, kcal/h, Btu/lb. Dicha capacidad es bajo condiciones normales.

El porcentaje de carga se define como la relación entre el calor que transmite por hora y el que debería de transmitir de acuerdo con su superficie de calefacción a razón de 8,450 kcal/h/CC ó de 33,500 Btu/h/CC.

¹⁵ Un Caballo Caldera (CC) es la evaporación de 15.65 kg/h (34 lb/h) de agua partiendo de 100°C (212°F) a vapor de 100°C (212°F). En términos de energía es 8,450 kcal/h o 33,475 kcal/h. Definición de la A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers).



Mejores Prácticas de Ahorro de Energía en Sistemas de Vapor **5**

Tomando como base los resultados del “Proyecto de Eficiencia Energética en el Área Térmica”, auspiciado por el Programa de USAID de Excelencia Ambiental y Laboral para CAFTA-DR (el Programa), en industrias de diversos giros económicos, y la experiencia de los consultores, a cargo de la elaboración de la presente guía, se muestra en la Tabla 1, un resumen de las medidas de ahorro que se identificaron y evaluaron durante dicho proyecto. En este caso, se presenta el porcentaje de ahorro potencial de combustible que se puede lograr al implementar las medidas mencionadas, en función del consumo total de combustible en la caldera, así como la rentabilidad de dicha inversión, calculada a través del periodo simple de recuperación de la inversión (PSRI).

El listado de las medidas se ordenó en función de la frecuencia que aparecieron en el “Proyecto de Eficiencia Energética en el Área Térmica”, mencionado. Tomando como ejemplo la medida No.2, que se refiere al “ajuste de la relación aire combustible, tendiente a valores estequiométricos, en función del tipo de combustible y de las condiciones operativas del sistema de combustión” ésta se encontró repetida 22 veces en los 27 diagnósticos realizados a las empresas industriales, dentro del Sistema de generación y Distribución de Vapor.

Tabla 1. Medidas de ahorro de energía que permiten mejorar la eficiencia

No	Descripción de la Medida de Ahorro de Energía	No.	Ahorro de combustible, %			PSRI, años		
			Mín	Máx	Prom	Mín	Máx	Prom
1	Instalar aislamiento térmico en líneas, accesorios, tanques y otros elementos calientes que carece de éste	56	0.01	8.3	1.59	0.1	5.8	1.4
2	Ajuste de la relación aire combustible, tendiente a valores estequiométricos, en función del tipo de combustible y de las condiciones operativas del sistema de combustión	22	0.33	20.0	3.32	0	3.3	0.5
3	Eliminar fugas de vapor	15	0.03	1.8	0.65	0	2	0.4
4	Recuperar condensados para su reingreso a la caldera, minimizando el uso de agua de reposición	13	0.10	5.8	1.82	0.14	4.8	2.1
5	Aprovechar el calor de las purgas de la caldera para calentar algún fluido	7	0.32	5.1	1.88	0.3	10	2.7
6	Optimizar las purgas en la caldera, en función de las recomendaciones del fabricante de calderas y de referencias imparciales y técnicas	5	0.38	6.1	2.11	0	3.2	1.3
7	Aprovechar el calor de los gases de la chimenea para calentar algún fluido útil, evitando la formación de ácido sulfhídrico	5	1.84	8.8	4.06	0.8	5.4	2.5
8	Revisar, dar mantenimiento, reemplazar y/o implementar trampas para condensados	4	0.01	3.8	1.27	0	1.6	0.6
9	Para empresas con más de una caldera en operación, procurar la administración eficiente de la carga de las calderas (demanda de vapor en proceso)	4	0.17	0.7	0.47	0	1.9	0.8
10	Reducir la presión del generador de vapor, hasta presiones adecuadas para el proceso, considerando las pérdidas por la red de distribución de vapor	3	0.26	1.3	0.65	0	0	0.0

No	Descripción de la Medida de Ahorro de Energía	No.	Ahorro de combustible, %			PSRI, años		
			Mín	Máx	Prom	Mín	Máx	Prom
12	Instalar un serpentín de vapor en un tanque de agua caliente para alguna operación.	3	0.39	9.0	3.47	0.7	3.5	1.7
13	Aislamiento-camisas lámina galvanizada en marmitas, tanques calientes en proceso	3	0.57	10.2	4.24	0.2	2.2	1.1
14	Uso de caldera alterna por mejor eficiencia	2	4.62	7.7	6.19	0	2.7	1.4
15	Desincrustación de tuberías internas en calderas	2	0.27	3.1	1.67	0.3	0.7	0.5
16	Acondicionar el combustible antes de quemarlo	2	0.00	0.0	0.00	0	0.1	0.1
17	Instalar piernas colectoras de condensados	2	0.19	0.7	0.45	3	3	3.0
18	Reemplazar la caldera actual de baja eficiencia, por una caldera nueva más eficiente	1	2.06	2.1	2.06	2.5	2.5	2.5
19	Reemplazar el sistema de combustión actual por uno nuevo de mayor eficiencia y adecuado al tipo de combustible	1	1.21	1.2	1.21	1.3	1.3	1.3
20	Instalar un economizador para aprovechar el calor de los humos	1	6.26	6.3	6.26	3	3	3.0
21	Cambio de combustible	1	9.60	9.6	9.60	0	0	0.0
22	Instalar acumulador de vapor	1	1.01	1.0	1.01	5.2	5.2	5.2
23	Adecuar o retirar tuberías inactivas	1	0.24	0.2	0.24	1.6	1.6	1.6
24	Implementar nueva red de distribución de vapor	1	13.20	13.2	13.20	2.7	2.7	2.7
25	Uso del agua de pozo para aprovechar la temperatura y enviarlo hacia alguna operación	1	2.96	3.0	2.96	0.4	0.4	0.4

Fuente: Resultado del análisis de los diagnósticos energéticos térmicos llevados a cabo bajo el Programa de USAID de Excelencia Ambiental y Laboral para CAFTA-DR

En la siguiente sección, se describirán, comentarán y mostrarán detalles de las principales medidas de ahorro de energía identificadas y evaluadas en las empresas participantes en el proyecto, esperando que esta información sirva de guía para otras empresas interesadas y que cuenten con sistemas de vapor y que deseen ver documentación de medidas factibles de implementación.

5.1 Instalación de aislamiento térmico en tuberías calientes

Resumen

La instalación de aislamiento térmico en tuberías calientes que carecen de éste, sobre todo en aquellas con temperaturas superiores a 100°C, que conducen vapor, son altamente rentables, con períodos simples de recuperación de la inversión menores a un año. Como resultado del trabajo realizado en el

marco del Programa CAFTA-DR, se obtuvo que, en promedio, las empresas participantes lograron ahorrar, alrededor del 2% del combustible total de la caldera, al colocar el aislamiento faltante en las tuberías de vapor que carecían de éste. Esta práctica se enmarca dentro de las actividades de mantenimiento y mejoramiento de instalaciones.

En el caso de tuberías calientes con temperaturas menores a 100°C, pero superiores a 60°C, la instalación de aislamiento térmico es medianamente rentable, ya que presenta períodos simples de recuperación de la inversión superior a los dos años.

Resulta más rentable la implementación de aislamiento térmico en tuberías que carecen de éste, a medida que es más alta la temperatura en la tubería y/o a medida que se incrementa la presión del vapor, además de que esto resulta en protección para el personal.

16 Los daños pueden ser provocados también por fugas de vapor, ya que al condensarse en la superficie del aislamiento, la humedad merma las propiedades térmicas del mismo, así como reducen su vida útil. Es posible encontrar fugas en las líneas de vapor, válvulas y bridas, también en uniones de la tubería de equipos que utilizan el vapor.

Marco de referencia

En las instalaciones de vapor de las empresas, se llega a encontrar que el sistema de distribución de vapor (tuberías de vapor) no cuenta con aislamiento térmico, o bien, por cuestiones de la operación cotidiana, el aislamiento térmico se daña,¹⁶ por lo que algunas secciones de tuberías quedan expuestas al ambiente y las cuales no son reparadas (ver Ilustración 4). En otras ocasiones, el aislamiento fue retirado debido a que “estorbaba” la realización de alguna actividad, y en la mayoría de las veces, éste no se vuelve a colocar.

La carencia de aislamiento térmico en las tuberías y venas,¹⁷ que conducen vapor ocasiona, además de pérdidas de energía,¹⁸ otros tipos de problemas, tanto operativos como de seguridad laboral en el sitio de trabajo. Algunos de ellos se anuncian a continuación:

- Condensación excesiva en las tuberías de distribución de vapor, disminuyendo substancialmente su capacidad de distribución y por ende su capacidad térmica;

- Golpes de ariete en las líneas y una mayor corrosión en las mismas debido a la condensación;
- Mayor demanda de vapor para compensar la condensación formada;
- Superficies expuestas con una temperatura mayor a 60°C, por lo que incrementa el riesgo laboral, tanto por la posibilidad de quemadura directa, como por crear condiciones ambientales con temperaturas altas que perjudican el desempeño laboral.

En la Ilustración 4, se presenta los casos antes descritos. En las fotografías A y B se aprecian dos secciones de tuberías cuyos aislamientos se encuentran en mal estado. En la primera, el aislamiento está deteriorado debido a falta de cubierta protectora, mientras que en la segunda, por el tráfico intenso en las áreas productivas, ha llegado a dañarse.

En la fotografía C, la tubería que lleva producto y que va acompañada de una vena de vapor no cuenta con aislamiento,¹⁹ así como en la fotografía D, la tubería de vapor se encuentra sin aislamiento térmico.

Ilustración 4. Tuberías sin aislamiento



Fuente: CySTE

17 Se llaman venas de vapor cuando calientan a una tubería que transporta materia prima.

18 Las pérdidas de energía se traducen en un mayor consumo de combustible en la caldera y, en consecuencia, mayores costos operativos.

19 Este caso se verá posteriormente.

Mejores prácticas

Un buen aislamiento térmico puede reducir las pérdidas de energía entre un 70% a un 90%, así como disminuir los problemas de golpe de ariete, mantener la presión requerida por los equipos de la planta y reducir el riesgo laboral debido a tuberías calientes expuestas al personal. Por lo anterior, se recomienda llevar a cabo un programa de inspección para evaluar si el aislamiento térmico tiene que ser sustituido parcial o totalmente en la línea de vapor. Esta práctica debe de estar enmarcada en el programa de mantenimiento rutinario.

Con esta medida de ahorro se logra reducir costos de operación innecesarios. Los puntos de mejora que se presentan comúnmente en las líneas de distribución de vapor, son los siguientes:

- Falta de aislamiento en tuberías;
- Aislamiento no repuesto;²⁰

- Aislamiento húmedo;²¹
- Rupturas en la cubierta del aislamiento;²²
- Presencia de arrugas o deformaciones,²³ en el aislamiento de la línea de vapor;
- Aislamiento dañado por tráfico de personal o maquinaria.

Por regla general, se debe colocar aislamiento térmico en todas aquellas tuberías cuyas temperaturas se encuentren por arriba de los 60°C, tanto en las de vapor como en las que transporten producto proveniente de alguna operación. Esto sobre todo para reducir los riesgos laborales.

En la Ilustración 5 se aprecia el acabado de la lámina protectora sobre el aislamiento térmico. Dicho acabado es una protección de aluminio o acero, que cubre al aislamiento. También se presenta una ilustración de cómo se aísla una tubería que lleva producto y que va acompañada de una vena de vapor.

Ilustración 5. Vistas de la protección del aislamiento térmico en tuberías y esquematización del aislamiento térmico en venas de vapor



Fuente: CySTE

Por otra parte, es importante señalar que después de que las líneas de vapor han sido aisladas térmicamente, los cambios en el flujo de calor pueden influenciar el comportamiento de otras partes del sistema de vapor, haciéndolas más eficientes, toda vez que reciben vapor de mejor calidad.

20 Como se había indicado anteriormente, ya sea que se deterioró por cualquier circunstancia o porque fue retirado debido a alguna actividad, y que ya no se volvió a reponer o a colocar en su lugar.

21 Puede ser por fugas de vapor o por algún otro líquido que pudiera derramarse sobre el aislamiento térmico de las líneas de vapor.

22 Dichas rupturas pueden causar que el aislamiento se humedezca, o bien, como sucede en la fotografía B de la Ilustración 4, donde por el daño a la cubierta, el aislamiento se desprende de la tubería de vapor, haciendo que dicha tubería se encuentre expuesta al ambiente con la consecuente pérdida de energía.

23 Esta situación revela la necesidad de juntas de expansión, ya que debido a la temperatura del vapor, uno de los fenómenos que sucede es que las líneas de vapor tienden a expandirse y a contraerse, por lo que las líneas deben contar con un estudio de flexibilidad.

Beneficios energéticos, económicos y período de recuperación de la inversión

En la Tabla 2 se muestran las pérdidas de calor que se presentan en las tuberías de vapor de diferentes diámetros, por cada metro lineal sin aislamiento.

A manera de ejemplo, se puede apreciar que en una tubería de una pulgada de diámetro y a una presión de vapor de 15 psig, las pérdidas de energía son de, aproximadamente, 5 MBtu por año, por cada metro lineal.

Por esta razón, si una empresa tiene una tubería de 10 metros, las pérdidas serán de 46 MBtu por año, o alrededor de 325 galones de bunker o 354 galones de diesel por año, respectivamente.²⁴

Tabla 2. Pérdidas de calor por cada metro de tubería de vapor sin aislamiento térmico

PÉRDIDA DE CALOR POR CADA METRO DE LÍNEA DE VAPOR SIN AISLAMIENTO [MBtu/año]				
Diámetro de la línea de distribución [pulgada]	Presión del vapor [psig]			
	15	150	300	600
1	4.6	9.4	12.3	16.2
2	7.7	15.7	20.7	27.6
4	13.6	27.9	36.7	49.2
8	24.3	50.5	66.6	89.4
12	34.6	72.2	95.5	128.6

*Tubería de acero (horizontal), 24°C de temperatura ambiente, sin velocidad de viento y una operación de 8,760 horas
Fuente: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) México

La experiencia ha demostrado que este tipo de medidas presenta un período simple de recuperación de la inversión menor a dos años.

Complementario a lo anterior, y como es lógico suponer, es más rentable el colocar aislamiento térmico en tuberías cuyas temperaturas sean mayores a los 100°C (que corresponden a los sistemas de vapor) y en segundo plano, a las tuberías de menos de 100°C, pero mayores a 60°C, que corresponden a los sistemas de retorno de condensados.

El nivel de inversión es relativamente bajo, y es normal que las empresas cuenten con una partida presupuestal anual considerada en sus gastos de mantenimiento.

Contexto técnico

En la Tabla 3 se presenta un resumen con los principales aislamientos térmicos, o termoaislantes,²⁵ utilizados, así como información general sobre estos y su rango de temperatura de aplicación.

24 El bunker tiene un PCI de 17,735 Btu/lb, con una densidad de 8.196 lb/gal y el diesel un PCI de 18,000 Btu/lb, con una densidad de 7.220 lb/gal.
25 Datos obtenidos de la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales.

Tabla 3. Materiales termoaislantes, información general y rango de temperatura de uso

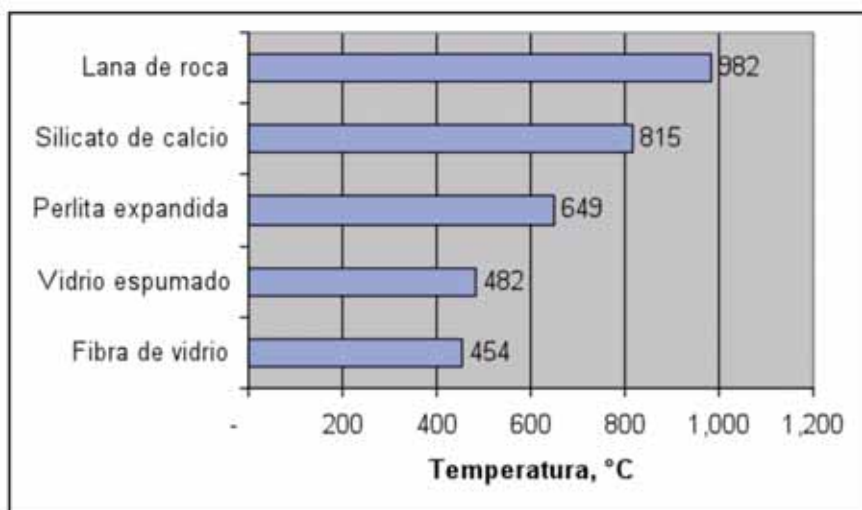
Tipo	Información general	Temperatura máxima de uso [°C]
Silicato de calcio	Es un termoaislante granular hecho a partir de silicato de calcio hidratado, con fibras orgánicas e inorgánicas y moldeado en formas rígidas. Es un material que absorbe agua, por lo que su uso se recomienda en aplicaciones a temperaturas superiores a los 250°C. Tiene pobre estabilidad dimensional y debe colocarse con recubrimiento protector. Es no inflamable.	Hasta 815°C
Fibra de vidrio	Es un termoaislante hecho a partir de la fusión de una mezcla de arenas con alto contenido de sílice. Según su proceso de manufactura se presenta en dos formas: (a) Con aglutinantes orgánicos que poseen estructura propia y preformas que dan lugar a medias cañas y placas rígidas y semirrígidas. (b) Con aceites minerales que evitan abrasión entre fibras y que dan lugar a colchonetas. Tiene bajos costos de instalación y buena absorción de ruido. Se debe proteger con recubrimiento (es común el uso de lámina de aluminio y/o de acero inoxidable) contra la intemperie y el abuso mecánico.	Código NC-2, Medias cañas y Código NC-3, placas rígidas y semirrígidas Clase I hasta 232°C Clase II hasta 454°C Código NC-4, colchonetas Clase I hasta 454°C
Vidrio espumado	Es un termoaislante celular, rígido sin aglutinantes ni fibras de refuerzo. Se presenta en forma de medias cañas, placas, segmentos curvos y preformados para accesorios de tuberías. Presenta una total impermeabilidad al agua y al vapor, no absorbe fluidos, resiste a los ácidos, se deteriora en medios alcalinos, buena estabilidad dimensional y alta resistencia a la compresión. Puede instalarse sin enchaquetado metálico y en instalaciones subterráneas.	Temperatura máxima de aplicación 482°C
Lana de roca	Es un termoaislante hecho a partir del estado de fusión de roca tipo basáltica o semejante, con alto contenido de aluminio-silicatos. Según su proceso de manufactura se presenta en dos formas: (c) Con aglutinantes orgánicos posee estructura propia y preformada. Dan lugar a medias cañas y placas rígidas y semirrígidas. (d) Con aceites minerales que evitan abrasión entre fibras y que dan lugar a colchonetas. Bajos costos de instalación y buena absorción de ruido. Se debe proteger con recubrimiento (es común el uso de lámina de aluminio y/o de acero inoxidable) contra la intemperie y el abuso mecánico.	Código NC-6, Medias cañas Clase III hasta 650°C Código NC-7, Placas rígidas y semirrígidas Clase I hasta 232°C Clase II hasta 454°C Clase III hasta 538°C Clase IV hasta 750°C Clase V hasta 982°C Código NC-8, Colchonetas Clase II hasta 650°C

Tipo	Información general	Temperatura máxima de uso [°C]
Perlita expandida	Está fabricada a partir de un mineral silicato complejo de tipo ígneo llamado perlita, cuya forma granular se expande por la explosión que produce la humedad contenida en la molécula al exponerse a alta temperatura repentina. Es repelente al agua, otorga facilidad de corte, corroe al acero inoxidable sujeto a esfuerzo, densidad media, es dimensionalmente estable. Se protege con enchaquetado de aluminio.	Código NC-9 Clase I hasta 649°C (con adhesivos orgánicos) Clase II hasta 649°C (con adhesivos inorgánicos)

Fuente: CySTE, basada en la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales

En la Gráfica 2 se presenta el rango de la temperatura de aplicación de los aislamientos térmicos, o termoaislantes más usados.

Gráfica 2. Rango de aplicación de los termoaislantes



Fuente: CySTE, basada en la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales

5.2 Instalación de aislamiento térmico en tanques o recipientes calientes

Resumen

La instalación de aislamiento térmico en tanques y recipientes calientes, sobre todo en aquellos con temperaturas superiores a 100°C, son altamente rentables, con periodos simples de recuperación de la inversión menores a un año. Esta práctica se enmarca dentro de las actividades de mantenimiento y mejoramiento de instalaciones.

A medida que se incrementa la diferencia de temperaturas,²⁶ entre la pared exterior de un tanque y el medio ambiente que lo rodea, mayores serán los

ahorros energéticos y económicos, por lo que la rentabilidad será más atractiva.

Cabe hacer el señalamiento que la instalación de aislamiento térmico en tanques y recipientes calientes con temperaturas menores a 100°C, pero superiores a 60°C, son medianamente rentables, con periodos simples de recuperación de las inversiones superiores a los dos años.

Marco de referencia

La carencia de aislamiento térmico en tanques calentados por vapor,²⁷ cuya temperatura en la superficie esté por encima de los 60°C, ocasiona, además de pérdidas de energía,²⁸ otros tipos de problemas, tan-

26 Sobre todo cuando estos recipientes están expuestos a la intemperie y/o están constantemente calentándose a "altas" temperaturas y se dejan enfriar, ya sea porque no se usan en las noches o en los fines de semana, o por alguna otra causa en particular.

27 Estos tanques calientes pueden ser reactores, intercambiadores de calor o tanques que se utilizan para calentar algún producto.

to operativos como de seguridad laboral en el sitio de trabajo. Algunos de ellos se anuncian a continuación:

- Se forma condensación excesiva en el interior de los tubos de los serpentines, disminuyendo substancialmente su eficacia de transmitir el calor al producto;
- Golpes de ariete en los serpentines,²⁹ y una mayor corrosión en los mismos debido a la condensación;
- Mayor demanda de vapor para compensar la condensación formada dentro de los serpentines;
- Superficies expuestas con una temperatura mayor a 60°C, por lo que se incrementa el riesgo laboral, tanto por la posibilidad de quemadura directa como por crear condiciones ambientales, con temperaturas altas que perjudican el desempeño laboral.

Es común que por cuestiones del funcionamiento cotidiano, el aislamiento térmico se dañe,³⁰ por lo que, algunas secciones de la superficie de los tan-

ques, quedan expuestas al ambiente, las cuales no son reparadas (ver Ilustración 6). En otras ocasiones el aislamiento es retirado debido a que “estorba en las operaciones cotidianas”, o bien por alguna causa desconocida se retiró dicho aislamiento térmico y en ocasiones éste no se vuelve a ser colocado.

Justamente en la Ilustración 6, se muestra (lado derecho) el caso de una caldera, a cuya parte inferior se le retiró el aislamiento térmico, por causas desconocidas y debido a que no es normal revisar dicha sección no se sabía de esta carencia y de la necesidad de reponer el aislante; para este caso la temperatura de la parte baja de la caldera fue de 150°C.

En el segundo caso, (lado izquierdo) el tanque de condensados tiene una temperatura normal de almacenamiento de 85°C, la temperatura de la pared del tanque se encontraba a 80°C, lo que representa pérdidas significativas de energía, además de ser un riesgo para el personal.

Ilustración 6. Tanques y superficies calientes sin aislamiento térmico



Fuente: CySTE

28 Las pérdidas de energía se traducen en un mayor consumo de combustible en la caldera y, en consecuencia, mayores costos operativos.

29 De no atender el problema se llega a perder vapor vivo en los serpentines, el cual se mezcla con el producto. Esto ocasiona que parte del producto se meta en la línea de vapor, llegando a contaminar los condensados, lo que deriva en el hecho de que se los tenga que desechar. Para mayor información, véase retorno de condensado.

30 Los daños pueden ser provocados también por líquidos que contengan los tanques, en los que, al desbordarse en las superficies del aislamiento, la humedad merma sus propiedades térmicas, así como reducen su vida útil.

Mejores prácticas

La implementación de un buen sistema de aislamiento térmico en los tanques y recipientes calientes puede reducir las pérdidas de calor entre un 70% y un 90%, además de reducir el riesgo laboral. Por esta razón, se recomienda llevar a cabo un programa de inspección para evaluar la temperatura de los tanques y recipientes calientes y verificar la condición actual del aislamiento térmico existente. Esta práctica debe estar enmarcada en el programa de mantenimiento anual.

Con la implementación de esta medida se logra evitar costos de operación innecesarios, así como mejorar la operatividad y funcionalidad de los equipos.

Los puntos de mejora que se presentan comúnmente en los tanques calientes, son los siguientes:

- Instalar aislamiento térmico en tanques/recipientes calientes, con temperaturas superiores a 60°C. Por regla general, se debe aislar todos aquellos tanques cuyas temperaturas de superficie exterior sean superiores a este valor, esto

para reducir los riesgos laborales, entre otros aspectos.

- Reemplazar el aislamiento húmedo,³¹ así como el que se encuentre dañado.
- Para el caso de sistemas con calentamiento directo de vapor, asegurarse de que no haya manifestación de golpes de ariete, ya que es muy común encontrar este fenómeno en este tipo de calentamiento, con los consecuentes daños internos de los recipientes, además de que es una forma costosa de calentar el agua, ya que se ocupa agua tratada de la caldera, que pasó por un sistema de ablandamiento.
- De manera general se debe usar el sistema de calentamiento mediante intercambiadores de calor (serpentines) antes que por inyección de vapor directo.

En la Ilustración 7 se muestran las aplicaciones del aislamiento, donde se aprecian los tanques aislados y con un acabado metálico.³²

Ilustración 7. Aplicación de aislamiento térmico en tanque caliente



Fuente: CySTE

³¹ Puede ser que el líquido que se esté almacenando o procesando en el tanque se derrame sobre la superficie del mismo y que la cubierta que protege al aislamiento no se encuentre bien instalada, entonces el aislamiento se humedece provocando que dicha sección del aislamiento se encuentre expuesta al ambiente, con la consecuente pérdida de energía.

³² Dicho acabado es la protección que cubre al aislamiento, éste depende del tipo de producto y proceso para el que se lo esté utilizando, ya sea de aluminio, acero inoxidable o de lámina de metal.

Por otra parte, es importante resaltar que después de que los tanques, o recipientes calientes, sobre todo los calentados por vapor, sean aislados térmicamente, se producirán cambios en el flujo de calor, los mismos que influenciarán en el comportamiento del mismo. Al haber menores pérdidas de calor, la transferencia de energía hacia el interior del tanque se hace más eficiente, pudiendo reducir los tiempos de la operación.

Beneficios energéticos, económicos y período de recuperación de la inversión

La experiencia ha demostrado que este tipo de medidas presenta un período simple de recuperación de la inversión menor a dos años.

Cabe señalar que el período de recuperación de la inversión está en función de la temperatura de la superficie del recipiente, ya que a mayor temperatura menor será el tiempo para recuperar la inversión, por concepto de dicha implementación.

Complementario a lo anterior, también se ha observado que es más rentable el aislar tanques cuyas

temperaturas sean cercanas o mayores a los 80°C, que a los tanques de menos de 80°C, pero mayores a 60°C. Estos últimos corresponden a los sistemas de retorno de condensados, agua para usos sanitarios, entre otros.

El nivel de inversión es relativamente bajo, y es normal que las empresas cuenten con una partida presupuestal anual considerada en sus gastos de mantenimiento.

Contexto técnico

En la Tabla 3 se presenta un resumen de los principales aislamientos térmicos, o termoaislantes utilizados, así como información general sobre estos y su rango de temperatura de aplicación.

Para conocer detalles con respecto a las especificaciones técnicas para la correcta instalación de aislamiento térmico en tanques y recipientes se recomienda revisar la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995,³⁴ Eficiencia Energética en Aislamientos Térmicos Industriales, entre algunas de las normas existentes.

Ilustración 8. Algunos tipos de aislantes térmicos para superficies calientes



Fuente: <http://www.brunssen.com.mx>;

³⁴ Datos obtenidos de la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales. www.conuee.gob.mx.

5.3 Instalación de aislamiento térmico en válvulas y bridas de la red de distribución de vapor

Resumen

La instalación de aislamiento térmico en válvulas y bridas calientes de la red de distribución de vapor es altamente rentable, con periodos simples de recuperación de las inversiones menores a 1 año. Esta práctica se enmarca dentro de las actividades de mantenimiento y mejoramiento de instalaciones.

Se ha podido observar que, de manera reiterada, el personal de las empresas indica que una razón de peso para no colocar aislamiento térmico en válvulas y bridas se debe a la posibilidad de una fuga en estos accesorios y, en consecuencia, la necesidad de que se encuentren libres de “obstrucciones” para tener maniobrabilidad y así efectuar el mantenimiento correspondiente.

Sin embargo, se somete a la consideración del personal de mantenimiento el realizar un análisis estadístico sencillo, en el que se revise la frecuencia de falla y las veces que se ha tenido que reparar las válvulas y las bridas de su sistema de distribución de vapor, con lo que se darán cuenta que la frecuencia es mínima y bien vale la pena considerar la implementación de aislamiento térmico en dichos accesorios, ya sea aislamiento térmico fijo, o removible, ya que incluso este último a pesar de ser más caro, que el fijo, tiene la ventaja de ser reusable y fácilmente desmontable.

Marco de referencia

La carencia de aislamiento térmico,³⁵ en las válvulas y bridas de las líneas de distribución de vapor ocasiona, además de pérdidas de energía, otros tipos de problemas, tanto operativos, como de seguridad laboral en el sitio de trabajo. Algunos de ellos se anuncian a continuación:

- Incremento en la formación de condensados en las tuberías de distribución de vapor, disminuyendo substancialmente su eficacia de transporte;
- Una mayor corrosión en las partes metálicas debido a la condensación;
- Posibilidad de que se presenten golpes de ariete en tuberías,³⁶ accesorios, tanques y equipos;
- Mayor demanda de vapor para compensar la condensación formada;
- Superficies expuestas con una temperatura mayor a 60°C, por lo que se incrementa el riesgo laboral, tanto por la posibilidad de quemadura directa como por crear condiciones ambientales con temperaturas altas que perjudican el desempeño laboral.

Es común que las válvulas, bridas y otros elementos de la línea de vapor no sean aislados térmicamente, debido a que se tiene una percepción de que dichos elementos no requieren ser aislados, o bien es mejor tenerlos sin aislamiento térmico para facilitar los mantenimientos, así como que hay un desconocimiento sobre la forma de cómo instalar el aislamiento en estos accesorios irregulares, en comparación de una tubería recta.

³⁵ El aislante térmico se utiliza para proveer resistencia al flujo de calor. Las superficies calientes sufren pérdidas o ganancias de calor dependiendo de la diferencia de temperatura con el exterior. El mecanismo de flujo de calor se da más por convección y radiación, por lo que es importante mitigar este flujo apoyándose en materiales conocidos como aislantes térmicos.

³⁶ Debido a los golpes de ariete se disminuye la vida útil de los accesorios y equipos, por lo que en el futuro pueden presentar fugas de agua o de vapor.

En la Ilustración 9 se puede observar que las tuberías sí cuentan con aislamiento térmico y cubierta de metal, sin embargo las válvulas y bridas carecen de éste.

Ilustración 9. Válvulas sin aislamiento térmico



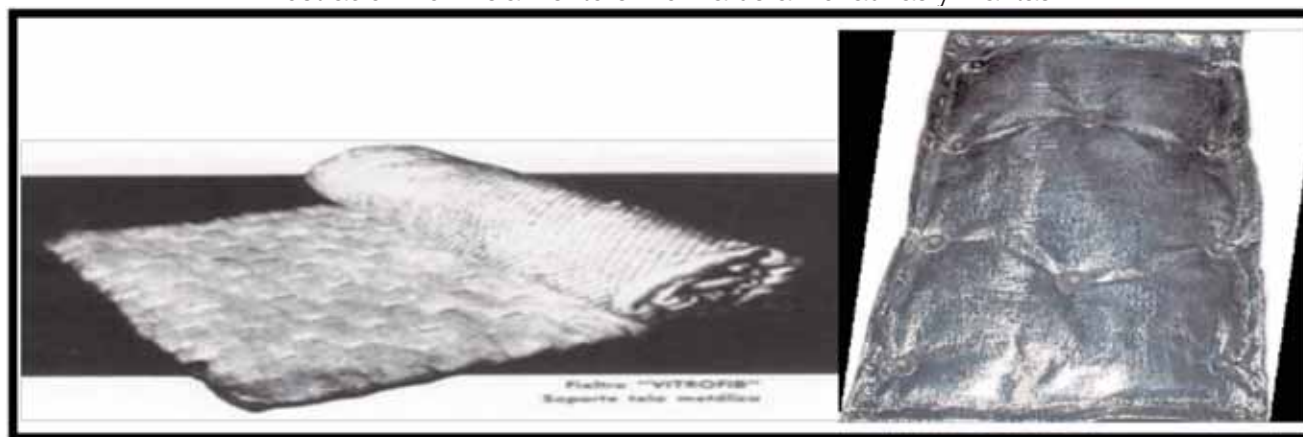
Fuente: CySTE

Mejores prácticas

Un buen aislamiento puede reducir las pérdidas entre un 70% y un 90%, así como se logra eliminar los problemas de golpe de ariete y reducir el riesgo laboral. En este sentido, se recomienda instalar aislamiento térmico en las válvulas, bridas y demás elementos que integran las líneas de vapor. Esta práctica debe de estar enmarcada en el programa de mantenimiento.

Como regla general, una superficie que alcanza temperaturas superiores a 60°C debe estar aislada para proteger al personal. Los aislantes comúnmente utilizados en sistemas de vapor son: fibra de vidrio, silicato de calcio, uretano y asbesto, aunque este último no es recomendable por ser nocivo para la salud, además de que ya no se lo está comercializando. En la Ilustración 10, se aprecian una colchoneta y una manta de aislamiento térmico del tipo de fibra de vidrio, desmontable.

Ilustración 10. Aislamiento en forma de almohadillas y mantas



Fuente: www.vitrofub.com.mx ; www.cisealco.com

En la Ilustración 11, se ejemplifica una válvula aislada térmicamente con un sistema de almohadillas, las cuales pueden quitarse fácilmente ya sea para la inspección periódica y/o mantenimiento. Las almohadillas aislantes también sirven como barreras acústicas para ayudar a controlar el ruido.

Una característica importante es que las almohadillas aislantes son reutilizables, se usan comúnmente en las plantas industriales para bridas aislantes, válvulas, juntas de expansión, intercambiadores de calor, bombas, turbinas, tanques y otras superficies

irregulares. Derivado de su flexibilidad y propiedades acústicas son utilizadas con el equipo que está montado horizontalmente o verticalmente, o que es de difícil acceso.

Es hasta cierto punto normal que las válvulas y bridas carezcan de aislamiento térmico, o bien que por cuestiones de mantenimiento se “prefiera” dejar estos accesorios libres. Sin embargo, es bueno saber que una válvula o brida pierde más calor que la longitud que ocuparía un tramo de tubería en su lugar.

Ilustración 11. Válvula sin y con aislamiento térmico desmontable



Fuente: www.comeval.es

Beneficios energéticos, económicos y período de recuperación de la inversión

La experiencia ha demostrado que este tipo de medidas presentan un período simple de recuperación de la inversión menor a un año. Complementario a lo anterior, también se ha observado que es más rentable el colocar aislamiento térmico en tuberías cuyas temperaturas son mayores a los 100°C (que corresponden a los sistemas de vapor), y en segundo plano, a las tuberías de menos de 100°C, pero mayores a 60°C, que corresponden a los sistemas de retorno de condensados.

El nivel de inversión es relativamente bajo, y es normal que las empresas cuenten con una partida presupuestal anual considerada en sus gastos de mantenimiento.

Aunque existe una notable resistencia o falta de cultura para instalar aislamiento térmico en este tipo de accesorios, es algo contra lo que hay que luchar ya que no hay justificación técnica que impida la aplicación de esta medida en válvulas y bridas.

Contexto técnico

En la Tabla 4 se resume el ahorro de energía,³⁷ factible de lograr al colocar aislamiento térmico removible en válvulas, en función del diámetro y de la temperatura o presión del vapor. Si se compara ésta, con la Tabla 2 y la Tabla 3, se podrá observar que una válvula de un diámetro determinado pierde más energía que la longitud que ocuparía una tubería del mismo diámetro en su lugar. Esto es fácilmente comprensible al ver que el área superficial que tiene la válvula

es mucho mayor a la que ocuparía una tubería en el mismo lugar, siendo por ello que existe en ingeniería la llamada longitud equivalente para válvulas y accesorios.

Lo que trata de mostrar ese factor, es a cuantos tramos de tubería recta, del mismo diámetro, equivale el área superficial de dicho accesorio para igualar las pérdidas de calor. Como se puede apreciar, las pérdidas están en función de la temperatura y del tipo de accesorio, siendo al menos el factor de 3 a 1.

Tabla 4. Ahorro de energía con la instalación de aislamiento desmontables en válvulas

Ahorro de energía por la instalación de aislamiento removible en válvulas para vapor [Btu/h]						
Temperatura de operación [°F] (Presión de vapor [psia])	Diámetro de la válvula [pulgadas]					
	3	4	6	8	10	12
200 (11.5)	800	1,090	1,560	2,200	2,900	3,300
300 (66.9)	1,710	2,300	3,300	4,800	6,200	7,200
400 (247)	2,900	3,400	5,800	8,300	10,800	12,500
500 (680)	4,500	6,200	9,000	13,000	16,900	19,700
600 (1,541)	6,700	9,100	13,300	19,200	25,200	29,300

Basado en la instalación de aislamiento de una pulgada de diámetro, con una temperatura ambiente de 65°F, sin viento, ni expuesta a la intemperie.

Fuente: DOE

5.4 Reducir u optimizar el exceso de aire para la combustión

Resumen

El mantener en la caldera un exceso de aire elevado en la combustión, trae como consecuencias un desperdicio de energía, ya que como hay una cantidad adicional de gases atmosféricos que no reaccionan en la combustión, estos absorben energía reduciendo la energía disponible para generar vapor. La medida es una mejora operativa y de mantenimiento.

Por ello, es importante reducir el exceso de aire a los niveles mínimos factibles, ya que con esto se aprovecha de mejor manera la energía que contiene el combustible.

En la práctica se ha visto que se alcanzan ahorros de 0.33% a 20% con respecto al consumo de combustible de la caldera o, en promedio, un ahorro de la energía utilizada en vapor verificable,³⁸ del 3.3%. El costo de implementación tiene un periodo simple de recuperación de la inversión de 0.5 años, en promedio.

Marco de referencia

En la operación de las calderas es normal encontrar, en la relación aire combustible, siempre un exceso de aire,³⁹ esto derivado de que por regla es necesario inyectar un poco más del aire teórico,⁴⁰ con el propósito de asegurar que todo el combustible sea quemado y se pueda aprovechar su energía de combustión.

37 El ahorro de energía se define como la diferencia en la pérdida de calor entre la válvula sin aislar y el funcionamiento de la válvula con aislamiento, a la misma temperatura.

38 El vapor verificable es el vapor neto producido por la caldera, que es equivalente a la diferencia de la cantidad de agua de entrada a la caldera, menos la cantidad de agua que es eliminada por las purgas.

El ahorro de energía en vapor verificable, es la reducción en el uso del vapor, que conlleva a una reducción de los insumos asociados para su producción, entre los que destacan, el combustible para la caldera, químicos para los suavizadores y agua de reposición, entre los más importantes.

39 Es la cantidad de aire más allá de la requerida teóricamente (por estequiometría), el aire total es el que se inyecta y que es suministrado al quemador.

40 El aire teórico es aquél que estequiométricamente (cálculo químico) se requiere para hacer reaccionar todo el combustible, sin que sobre, ni falte aire. A este aire se le conoce también como 100% de aire necesario para la combustión.

El exceso de aire también se puede dar como resultado en las infiltraciones que se presenten en la caldera, cuestión que provoca reducción en la temperatura de los gases de combustión y hace que la eficiencia en la combustión no sea la más adecuada.

En el caso contrario, un bajo nivel de aire, provoca que la combustión sea incompleta y se produzca hollín e inquemados. En el hogar de las calderas o en

la superficie de los tubos de la caldera se pueden presentar depósitos de hollín, reduciendo con esto la eficiencia de transferencia de calor al agua. Una forma sencilla de apreciar el bajo nivel de aire en la combustión es cuando el color de los gases en la salida de la chimenea se ven oscuros, esto es señal de una mala combustión. Lo anterior se presenta en la fotografía izquierda de la Ilustración 12.

Ilustración 12. Salida de los gases de combustión de la chimenea con un nivel bajo de aire y medición de los gases de combustión en la chimenea



Fuente: CySTE

Como se comentó anteriormente, la práctica común es que el exceso de aire encontrado en la operación de las calderas sea mucho más alto que el recomendado, motivo por el cual, se tiene pérdidas adicionales de energía y por ende, una reducción en la eficiencia de la caldera. En la Tabla 5 se muestran los rangos de exceso de aire de acuerdo al tipo de combustible utilizado.

Tabla 5. Exceso de aire recomendado para la combustión, en función del tipo de combustible

Exceso de aire recomendado	
Combustible	Exceso de aire recomendado (%)
Gas natural	5 – 10
Propano	5 – 10
Gas de coque	5 – 10
Combustóleo (Fuel Oil 6)	10 – 15

Fuente: CONUEE Consejos para ahorrar energía en sistemas de vapor pág. 11

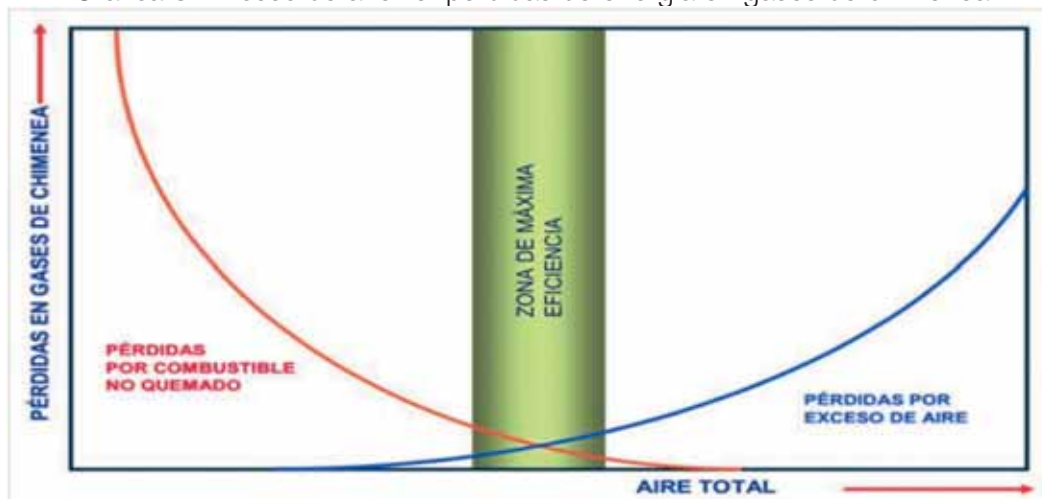
Al reducir el exceso de aire se cumplen varias condiciones:

- Cuando los gases salen de la caldera llevan un alto potencial de desperdicio de energía que puede reducirse al disminuir el exceso de aire (volumen de gases);
- A menor exceso de aire, menor velocidad y mayor estadía y transferencia de calor en el hogar de la caldera.

Para tener una mayor claridad de los efectos que puede tener el exceso de aire en las pérdidas de los gases de la chimenea, se esquematizan dichas consecuencias en la Gráfica 3 en la que se muestra

cómo, al incrementarse el exceso de aire, se disminuyen las pérdidas por combustible no quemado, pero se incrementan las pérdidas de energía por dicho exceso de aire.

Gráfica 3. Exceso de aire vs. pérdidas de energía en gases de chimenea



Fuente: CONUEE. Bases para el ahorro de energía de calderas y sistemas de vapor

Mejores prácticas

La reducción del exceso de aire es una de las técnicas operativas más efectivas que puede aplicarse sin tener que realizar altas inversiones.

La Tabla 5 contiene las recomendaciones para ajustar los niveles de exceso de aire requeridos, según los diferentes tipos de combustibles, ya sean líquidos o gaseosos.

Antes de llevar a cabo esta recomendación, es necesario realizar análisis⁴¹ en los gases de combustión de la caldera (ver Ilustración 12), para identificar los valores del exceso de aire en los tres regímenes de trabajo de la caldera, que son fuego alto, medio y bajo, además del porcentaje de tiempo que trabaja la caldera en cada uno de estos niveles de fuego. Posteriormente, se deberá llevar acciones encaminadas a lograr el exceso de aire de acuerdo a los parámetros establecidos en la Tabla 5.

Beneficios energéticos, económicos y período de recuperación de la inversión

En la práctica se ha visto que se alcanzan ahorros de 0.33% a 20%, con respecto al consumo de combustible de la caldera, teniendo en promedio un ahorro de la energía utilizada en vapor verificable del 3.3%. El costo de implementación tiene un periodo simple de recuperación de la inversión de 0.5 años en promedio.

Contexto técnico

Las acciones que deben llevar a cabo en la planta para la implementación de esta medida se describen en la Tabla 6. Cabe hacer mención que los puntos 5, 6 y 7 podrán ser llevados a cabo por el personal encargado de la operación de la caldera, siempre y cuando se adquiera el analizador de gases y se les brinde la capacitación correspondiente. En caso contrario, el ajuste de la caldera deberá estar a cargo de alguna empresa prestadora del servicio contratada de manera externa.

Tabla 6. Lista de actividades a desarrollar en el ajuste de la relación aire combustible

No	Actividad	Desarrollo	Sitio
1	Revisión de controles de la caldera y sistema eléctrico	Es necesario revisar los controles y el sistema eléctrico de la caldera para asegurar que ésta va a operar de manera adecuada y segura.	Caldera.
2	Revisión del sistema de inyección de combustible	<p>Se requiere revisar las boquillas o espreas del sistema de inyección del combustible, ya que deberán limpiarse y sobre todo, verificar que se encuentren dentro del diámetro recomendado por el fabricante. Un mayor diámetro implica un mayor consumo de combustible y menor calidad en la “pulverización” o esparido del combustible.</p> <p>Con base en la experiencia observada en las empresas, se pudo constatar que las espreas prácticamente no son sustituidas, sin embargo el manual de mantenimiento de las calderas recomienda que, pese a ser espreas originales, se deben cambiar al menos una vez al año. Si las espreas son manufacturadas en talleres mecánicos locales, se ha comprobado que tienen una vida útil que corresponde al 50% de una original.</p>	Conjunto quemador de la caldera y/o sistema de inyección del combustible.
3	Revisión de las condiciones de inyección del combustible	Otro aspecto a revisar es asegurar que las condiciones del combustible sean las óptimas, tanto en temperatura, como en presión de inyección. Una temperatura baja en el bunker o una falta de presión de inyección son causales de la reducción de la eficiencia en la combustión.	Sistema de acondicionamiento de combustible y sistema de inyección del combustible.
4	Disponibilidad y operatividad de los equipos de medición	<p>Para llevar a cabo esta práctica, es indispensable contar con equipo de medición que permita cuantificar los gases de combustión (analizador de gases),⁴² para que con ello se determine la cantidad de exceso de aire con la que se está operando y se puedan realizar los ajustes pertinentes de la caldera mes a mes, o inclusive puede ser quincenal o semanal, esto varía de acuerdo al control que la empresa necesite tener.</p> <p>El analizador de gases cuenta con aditamentos⁴³ que son indispensables para la medición de los gases, y que, en general, de acuerdo a la marca, al uso y al cuidado, pueden tener una duración de al menos un año, por lo que es necesario revisar, con frecuencia, las condiciones en las que se encuentran. Además, cada vez que son sustituidos, el analizador de gases deberá ser calibrado, por lo que tanto los aditamentos, como la calibración, representan costos que la empresa debe tomar en cuenta. El costo por calibración está en un rango de los 250 a los 350 US\$, mientras que una celda presenta un costo de alrededor de los 200 US\$.</p>	Analizador de gases.

42 En el mercado existe una diversidad de marcas entre las que se encuentran el Testo y el Bacharach. De esta última marca, se recomienda el modelo PS2.
 43 Entre dichos aditamentos se encuentran las celdas, con las cuales se realizan las mediciones. También se requiere de filtros y sondas.

No	Actividad	Desarrollo	Sitio
5	Realizar el análisis de gases	Habiendo cumplido con las actividades anteriores, se procede a efectuar los análisis de los gases de combustión en la salida de la chimenea, donde deberá haber un punto de muestreo, o sea, un barreno donde pueda introducir la sonda del analizador de gases, lo más cercano al cuerpo de la caldera, para evitar medir los gases con alguna entrada adicional de aire. Las mediciones se deberán efectuar en las tres condiciones de flama (fuego bajo, medio y alto), para determinar en cada una de estas condiciones el exceso de aire con el que estuviera trabajando la caldera.	Chimenea de la caldera y conjunto quemador.
6	Realizar el ajuste	Una vez efectuada cada una de las mediciones en las tres condiciones antes citadas y determinado el exceso de aire, en cada una de ellas se deberá realizar el ajuste necesario de la alimentación del aire de tal manera que el exceso de aire no sobre pase lo que establece la Tabla 5. En los manuales de la caldera viene especificada la forma de hacer dichos ajustes, por lo que se recomienda ver las especificaciones del fabricante. Se recomienda que la caldera se ajuste de preferencia al nivel de flama que registra mayor tiempo de operación.	Chimenea de la caldera y conjunto quemador.

Cabe hacer mención que la empresa tendría que capacitar a su personal para el manejo del analizador de gases.

5.5 Reparación de fugas de vapor

Resumen

El reparar las fugas de vapor trae como beneficio, por una parte, el ahorro de energía, dado que el vapor tiene un alto valor energético, y por otra parte, se deja de desperdiciar agua tratada, además que se reduce el riesgo laboral. Esta práctica se enmarca dentro de las actividades de mantenimiento y mejoramiento de instalaciones.

Como resultado de los diagnósticos realizados en el presente proyecto, se encontró que algunas empresas presentan fugas de vapor vivo. En promedio, la implementación de esta medida trae ahorros energéticos de entre el 0.03% y el 1.8% en el combustible de la caldera, esto con base en los estudios realizados en el Programa, aunque estos son los resultados de una muestra de empresas.

Con respecto al período simple de recuperación de la inversión, se ha observado que este tipo de medi-

das tienen una recuperación prácticamente inmediata, mucho menor a un año. Esto debido a que en la mayoría de los casos se requiere de baja inversión, o inversiones casi nulas, ya las empresas cuentan con lo necesario para realizar dichas reparaciones,⁴⁴ o incluso deben estar contempladas dentro del presupuesto de mantenimiento.

Marco de referencia

Uno de los problemas que se presenta en el sistema de distribución de vapor, en las líneas de vapor, venas de vapor, válvulas, bridas, uniones, tanques de proceso, intercambiadores de calor, serpentines, etc., es la presencia de fugas de vapor, llamado por algunos como “vapor vivo”, el cual es “invisible”, pero ruidoso y con alta temperatura. El mantener dichas fugas en el sistema de vapor además de ser pérdidas de energía,⁴⁵ y de agua tratada,⁴⁶ acarrea problemas de seguridad laboral.⁴⁷

Otro caso de pérdidas de vapor es el que ocurre con el “vapor flash”, que es una forma visible de desper-

⁴⁴ Las reparaciones son sellos, asientos de válvulas, cambio de vástago en válvulas, por lo general.

⁴⁵ Esta pérdida de energía directa ya no es recuperable, ya que al perder vapor se requiere reponer el agua, por lo que será necesario calentar dicha agua (de reposición), desde la temperatura a la que sale del tratamiento (30°C en promedio), hasta la temperatura de trabajo y por este motivo se invierte en un mayor consumo de combustible en la caldera.

⁴⁶ Otro problema de las fugas de vapor, es que además de perder energía se pierde agua que tuvo un costo al haberle dado un tratamiento químico, por lo que además del costo de combustible se tiene que considerar el costo correspondiente a los químicos perdidos.

⁴⁷ Dependiendo de la ubicación de la fuga de vapor, es el riesgo potencial que presenta. El simple hecho de pasar frente a la fuga es un riesgo inminente de quemadura, aunque como se indicó, la fuga de vapor se “anuncia” mediante un ruido elevado. Sin embargo, el personal de mantenimiento debe tener presente esto, sobre todo en instalaciones en las que se maneja vapor de alta presión.

dicio de energía. Es común que el vapor flash se produzca en un tanque de retorno de condensados que se encuentre abierto, o en zonas de baja presión, como pueden ser las trampas para condensados, entre otros.

Además, el calentamiento de sustancias con vapor directo también es una forma de pérdida de vapor, ya que al combinarse el vapor con las sustancias, éste ya no puede ser regresado a la caldera. Una de las aplicaciones que utiliza el vapor de manera directa es el calentamiento de agua, ya sea en algunos casos para ingresar el agua a una operación o para Baño

María en la cocción de productos. En cualquier situación, lo recomendable es que el vapor transfiera su calor y el condensado se recupere.

En la Ilustración 13 se presenta una fuga en válvula y una fuga de vapor vivo. Para el primer caso la fuga es observable, ya que sale en forma de “nube”, mientras que en el caso la fuga de vapor vivo no es observable, aunque sí pueden haber evidencias tales como las que se muestran en la foto de la derecha, en donde debido a la temperatura del vapor, éste “quema” el techo, pero sin producir flama, ya que se debe recordar que la temperatura,⁴⁸ del vapor es de al menos 120°C.

Ilustración 13. Fuga de vapor flash y vapor vivo



Fuente: CySTE

Mejores prácticas

El reparar las fugas de vapor logra eliminar problemas de pérdidas de energía y agua, así como reducir el riesgo laboral, por lo que se recomienda llevar a cabo un programa de inspección para detectar fugas en la línea de vapor y/o en los equipos de proceso. Esta práctica debe estar enmarcada en el programa de mantenimiento.

Con esta medida se busca evitar costos de operación innecesarios así como evitar problemas colaterales, tales como daños en el sistema termoaislante en las líneas de vapor, en válvulas y accesorios, así como en equipos de proceso y la contaminación de condensados de vapor.

Los puntos de mejora que se presentan comúnmente en las líneas de distribución de vapor, son las siguientes:

- Reparar fugas en las tuberías de distribución de vapor y retorno de condensados;⁴⁹
- Reparar fugas en equipos de proceso.⁵⁰

Beneficios energéticos, económicos y período de recuperación de la inversión

Los beneficios económicos al reparar las fugas de vapor se traducen en dos sentidos, que son:

- Ahorro en consumo de combustible;
- Ahorro en consumo de químicos de tratamiento de agua.

48 Cuando el vapor tiene una presión manométrica de una atmósfera, su presión absoluta es de dos, por lo que la temperatura es de 121°C.

49 Fugas en tuberías, válvulas, bridas, reguladores de presión, medidores de presión, etc.

50 Según el tipo de proceso que se esté llevando a cabo, las tuberías de vapor que son utilizadas al interior de los tanques de calentamiento, almacenamiento, o intercambiadores de calor, pueden presentar fugas de vapor, que al mismo tiempo de perder este valioso recurso, se puede introducir parte del producto en dichas líneas, por lo que se combina provocando que el condensado se contamine y no pueda ser retornado a la caldera.

Para tener una idea de los impactos en las fugas de vapor, en la Tabla 7 se presenta las pérdidas de vapor en función de la altura de la pluma.⁵¹ En la primera columna se presenta la altura de la pluma en función de la presión. Como ejemplo, tenemos que

si la presión en la línea es de 8.1 kg/cm y la pluma tiene una distancia de aproximadamente 91 centímetros, en condiciones de una temperatura ambiente de 32.2°C, las pérdidas de vapor son de 22.72 kg vapor por hora.

Tabla 7. Pérdida de vapor (Método por altura de pluma)

Altura de la pluma		Pérdida de vapor kg/hr (lb/hr)					
		7.2°C (45°F) ambiente		21.1°C (70°F) ambiente		32.2°C (90°F) Ambiente	
8.1 kg/cm ²	(115 psi)						
0.91	3 ft	4.54	(10)	13.63	(30)	22.72	(50)
1.83	6 ft	13.63	(30)	27.27	(170)	127.27	(280)
2.74	9 ft	31.81	(70)	190.90	(420)	318.18	(700)
3.66	12 ft	50.00	(110)	295.45	(660)	500	(1,100)
29.2 kg/cm ²	(115 psi)						
0.91	3 ft	9.09	(20)	15.90	(35)	22.72	(50)
1.83	6 ft	22.72	(50)	77.27	(170)	131.81	(290)
2.74	9 ft	59.09	(130)	277.27	(500)	363.63	(800)
3.66	12 ft	100.00	(220)	395.45	(870)	636.36	(1,400)

Fuente: CONUEE Guía de vapor para la industria

En promedio se puede estar hablando de un ahorro en combustible del 0.65%. Cabe hacer la aclaración de que este ahorro está en función de la condición particular de las empresas, aunque se ha visto que incluso en empresas que cuentan con un alto grado de aislamiento en la red de distribución de vapor, pueden presentar este tipo de oportunidades de ahorro.

Con respecto al período simple de recuperación de la inversión, se ha observado que este tipo de medidas tienen recuperación prácticamente inmediata, mucho menor a un año, esto debido a que en la mayoría de los casos requiere de baja inversión, o de inversiones casi nulas, puesto que, en su gran mayoría, las empresas cuentan con lo necesario para realizar dichas reparaciones,⁵² o incluso deben estar contempladas dentro del presupuesto de mantenimiento.

Contexto técnico

De acuerdo a referencias de empresas fabricantes de sistemas de trampas para condensados, las pérdidas normales de “agua” en el circuito de vapor/condensados de una empresa no deberían superar el 5%⁵³, siendo estas pérdidas debidas a venteos y purgas de la caldera básicamente, sin existir fugas de vapor, ya que éstas son fallas en el sistema y no deberían de existir, por lo que si se tiene que reponer más de un 5% de agua en el sistema, es altamente probable que existan fugas que pueden ser de vapor o de condensados.

Las acciones que deben de llevar a cabo en la planta para la implementación de esta medida se describen en la Tabla 8, cabe hacer mención que se podrán llevar a cabo por personal encargado de mantenimiento.

51 Se entiende como altura de pluma a la longitud que alcanza la fuga de vapor.

52 Las reparaciones son sellos, asientos de válvulas, cambio de vástago en válvulas, por lo general.

53 Dato proporcionado por Spirax Sarco.

Tabla 8. Lista de actividades para la reparación de fugas de vapor

No	Actividad	Desarrollo	Sitio
1	Levantamiento de un layout de los sistemas de generación de vapor, de distribución y de usuarios	<p>Una práctica recomendable es contar con un layout, tanto de la ubicación de los equipos que integran el sistema de generación de vapor, como de las líneas de distribución de vapor y la ubicación de los equipos que utilizan el vapor. Ya que con esta acción se logra:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar la ubicación de los equipos que integran el sistema de generación de vapor, así como es conducente conocer sus datos de placa; 2. Conocer la cantidad y ubicación de los elementos que integran el sistema de distribución de vapor, tales como cabezales distribuidores de vapor, válvulas, reguladores de presión, manómetros, termómetros; 3. Identificar las áreas donde se encuentran los equipos consumidores de vapor y obtener sus datos de placa. Además, identificar la línea de retorno de condensados, con el propósito de ubicar, identificar y cuantificar la cantidad de trampas de vapor, tanques de almacenamiento y de bombas de retorno de condensados; 4. Una vez obtenido tanto los layout, como el listado, ordenar y controlar cada uno de los elementos, para lo que se debe asignar una codificación. Con ello se podrá facilitar el recorrido de inspección. En este sentido, se recomienda colocar a cada uno de los elementos, identificados y codificados, una placa, con sus datos para que al momento de llevar a cabo la inspección, esta tarea sea mucho más fácil. <p>También es importante contar con un balance/registro del agua nueva suministrada.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema de generación de vapor; (cuarto o casa de caldera); 2. Sistema de distribución de vapor; 3. Equipos que usan vapor.
2	Recorridos de inspección programadas a los sistemas de generación de vapor, de distribución y de usuarios	<p>Las herramientas para llevar a cabo los recorridos de inspección son:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Planos o layout con la codificación de los equipos y elementos a revisar; 2. Listado de equipos y elementos para identificar el tipo de mantenimiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema de generación de vapor; (cuarto o casa de caldera); 2. Sistema de distribución de vapor; 3. Equipos que usan vapor.

No	Actividad	Desarrollo	Sitio
3	Programación de actividades de mantenimiento para la reparación de las fugas de vapor	<p>De acuerdo a los resultados de la inspección y a la complejidad de las reparaciones, éstas se deberán programar en función de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La ubicación de la fuga; 2. La complejidad de la fuga; 3. El tipo de operación. <p>Nunca se repare cuando el proceso se encuentre operando, ya que al hacer cualquier maniobra y estando presurizado el sistema, se provocan altos riesgos laborales.</p>	Departamento de mantenimiento
4	Reparación de fugas	<p>Por lo general, las reparaciones de fugas no son complicadas en los accesorios y elementos que integran el sistema de distribución de vapor. Por lo regular las reparaciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de juntas; • Ajuste de vástagos; • Cambio de sección de tubería, esto en lugar de únicamente soldar la sección que presenta la fuga; • Sustitución de accesorios (válvula, regulador de presión, etc.). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema de generación de vapor; (cuarto o casa de caldera); 2. Sistema de distribución de vapor; 3. Equipos que usan vapor.

5.6 Recuperación de condensados de vapor

Marco de referencia

Resumen

El recolectar y aprovechar los condensados del vapor es una de las medidas más importantes en el mejoramiento del circuito de vapor, ya que se recupera la energía que el agua contiene, así como se rescata el agua pura que ya ha sido tratada. Con esto se reduce el consumo de combustible en la caldera y se ahorra en el tratamiento químico del agua.

En la práctica, se ha visto que se alcanzan ahorros de 0.1% al 5.8% con respecto al consumo de combustible de la caldera, teniendo en promedio un ahorro de la energía utilizada en vapor verificable del 1.8%. El costo de implementación tiene un periodo simple de recuperación de la inversión de 2 años en promedio. Esta práctica se enmarca dentro de las actividades del mantenimiento y mejoramiento de instalaciones.

El condensado de vapor es un recurso extremadamente valioso, ya que normalmente es un agua tratada químicamente y de alta temperatura (90°C).

El captar el condensado del vapor después de haber sido utilizado y retornarlo al tanque de alimentación de la caldera, permite reducir el consumo de combustible y por consecuencia, ahorro económico en la compra de éste.

De manera paralela, al recuperar el propio condensado (agua de alta pureza) también se ahorra en el consumo de los químicos que son utilizados en el agua de reposición a la caldera.

Cabe hacer mención que el condensado no debe de tener contaminación de productos con los que se haya mezclado; o que se deseche y después sean colectados, (como se aprecia en la Ilustración 14) ya que éstos se contaminan.

La importancia de recuperar la energía que tiene almacenada el condensado es no gastar más combustible del que se necesita, esto es debido a que si se ingresa agua a la caldera a una temperatura ambiente, la caldera tendrá que destinar energía (calor

sensible),⁵⁴ para elevar su temperatura, que oscila alrededor de los 24°C, en promedio, hasta la temperatura de evaporación, que como mínimo son 100°C o más, a la presión que se requiera.

Ilustración 14. Punto donde se desecha el condensado.



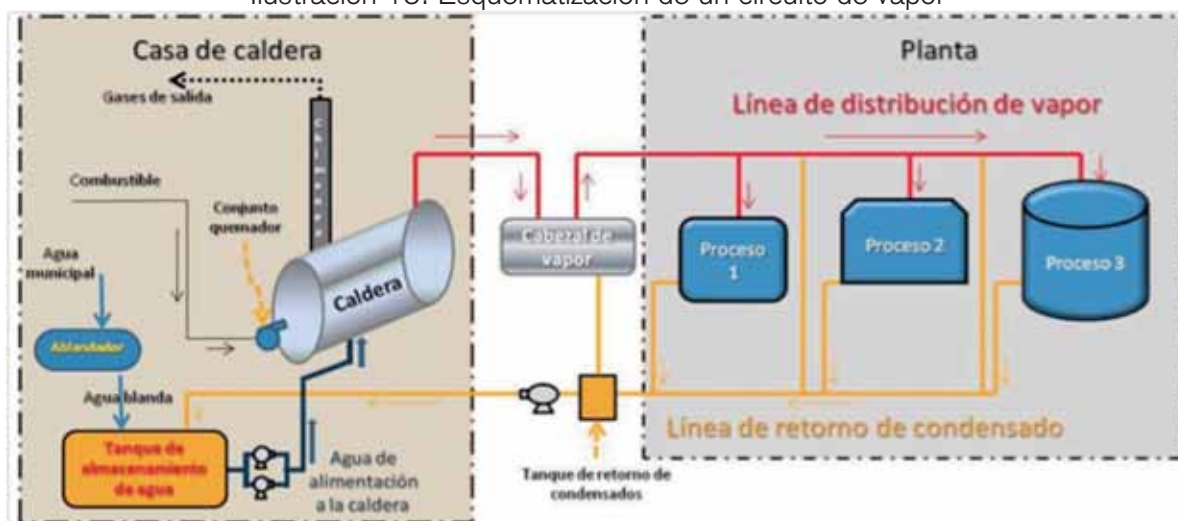
Fuente: CySTE

Mejores prácticas

La siguiente regla es que se debe procurar coleccionar y regresar los condensados al tanque de alimentación del agua a la caldera, a la mayor temperatura y la mayor cantidad posible.

En la Ilustración 15 se presenta el circuito de vapor completo, donde se aprecia que los condensados cuentan con una línea de retorno. De los cabezales distribuidores de vapor, de las líneas de vapor (tuberías) y en cada operación es coleccionado y llevado a un tanque de retorno de condensados. Dependiendo de la distancia del tanque, es bombeado al tanque de alimentación de agua a la caldera.

Ilustración 15. Esquematización de un circuito de vapor



Fuente: CySTE

Los puntos donde se debe de recolectar el condensado son los siguientes:

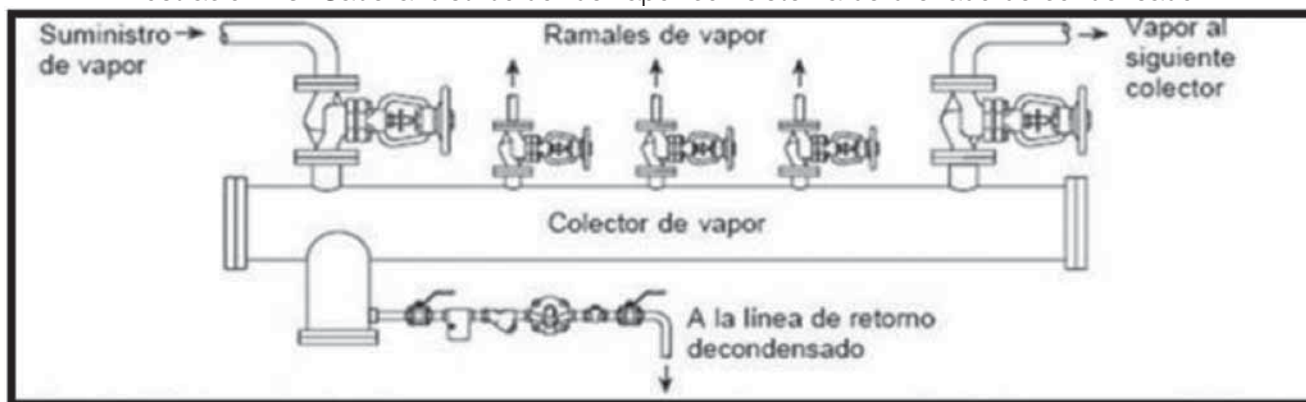
1. Cabezales distribuidores de vapor;
2. Línea de distribución de vapor;
3. Equipos que usan vapor.

En el caso de los cabezales distribuidores de vapor (ver Ilustración 16), se debe drenar de una manera similar a las líneas de vapor con un pozo de goteo en

la parte inferior del cabezal. Deberá tener una pequeña inclinación hacia el extremo donde se encuentra el pozo, o pierna colectora de condensados.

En los cabezales de más de 5 m, será conveniente colocar un pozo de goteo en cada extremo. Los colectores que se encuentran cerca de las calderas son susceptibles a los arrastres, por tanto se recomienda el uso de trampas para condensados de boya/flotador para manejar las fluctuaciones en las cargas de condensado. Las trampas termodinámicas con disco eliminador de aire ofrecen una buena alternativa.

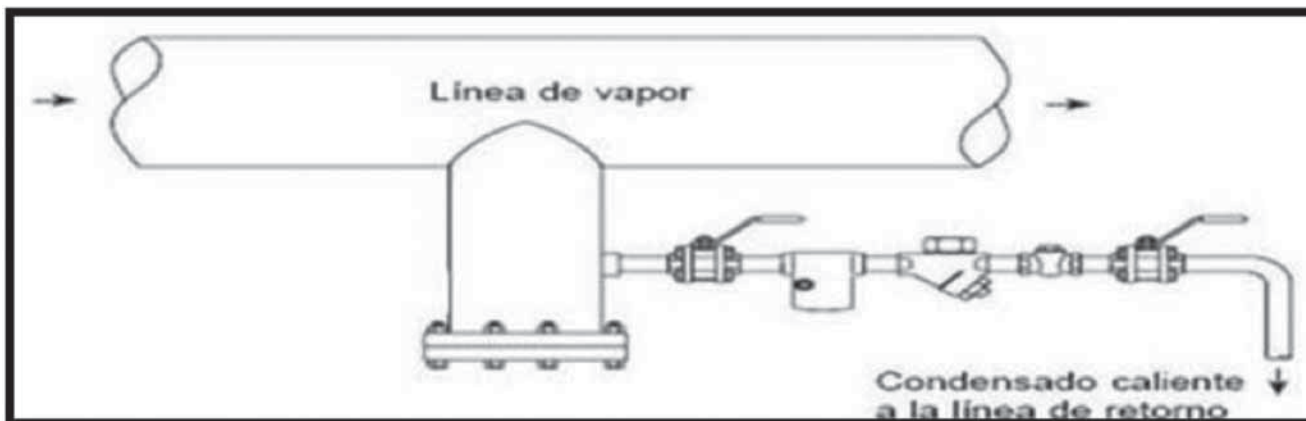
Ilustración 16. Cabezal distribuidor de vapor con sistema de drenado de condensado



Fuente: Spirax Sarco

En la situación del drenado en una línea principal de vapor, se debe utilizar siempre un pozo/pierna colectora de goteo de tamaño adecuado para permitir la entrada del condensado, que se desplaza con velocidad (Ilustración 17).

Ilustración 17. Pozo/pierna de goteo en línea principal de vapor



Fuente: Spirax Sarco

La Tabla 9 muestra las medidas recomendadas para pozos/piernas de goteo para líneas de vapor.

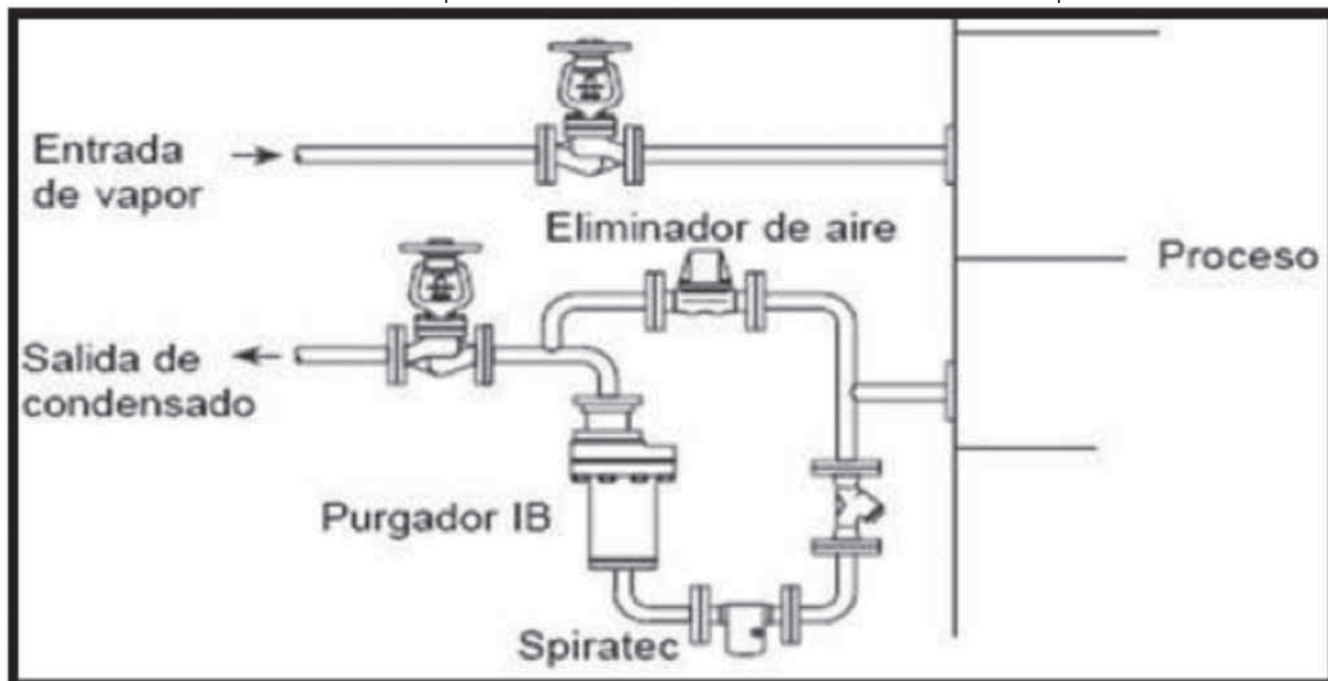
Tabla 9. Dimensiones del pozo/pierna de goteo

Diámetro de la línea - D	Diámetro del pozo - d_1	Profundidad del pozo - d_2
Hasta 100 mm	$d_1 = D$	Mínimo $d_2 = 100$ mm
125 - 200 mm	$d_1 = 100$ mm	Mínimo $d_2 = 150$ mm
250 mm y superior	$d_1 = D / 2$	Mínimo $d_2 = D$

Fuente: Spirax Sarco

En la situación del condensado en equipos, por lo general el vapor entra a los equipos, realiza su función de calentamiento y en la salida se instala una tubería en donde se coloca un eliminador de aire y una trampa de condensado (también conocido como purgador), posteriormente el condensado del vapor se dirige a la línea de retorno, ver Ilustración 18.

Ilustración 18. Trampa de cubeta invertida con eliminador de aire en paralelo



Fuente: Spirax Sarco

Para implementar esta recomendación, es necesario invertir en los siguientes elementos:

- Tubería para el retorno de condensado;
- Válvulas, trampas para condensado, eliminadores de aire y demás accesorios;
- Bomba y tanque de almacenamiento de condensado; esto dependiendo de la cantidad y distancia;

Beneficios energéticos, económicos y período de recuperación de la inversión

Es importante destacar que por cada 6°C de aumento en la temperatura del agua de alimentación a la caldera se tendrá aproximadamente el 1% de la economía del combustible.⁵⁵

Los beneficios energéticos van de 0.1% a 5.8%. Con respecto al período simple de recuperación de la inversión, se ha observado que este tipo de medidas para los sistemas de vapor presentan periodos simples de recuperación de la inversión menor a dos años. El tipo de inversión es de mediano nivel.

Contexto técnico

De las actividades que la planta tiene que llevar a cabo, se encuentran:

1. Realizar un levantamiento de los puntos donde se requiera recuperar el condensado;
2. Trazar las distancias y definir la ruta por donde se instalaría la tubería para el retorno de condensados;
3. Cuantificar cantidad de tubería, trampas de condensados, válvulas y demás accesorios.

5.7 Recuperar el calor de purga de la caldera Resumen

El recuperar el calor de la purga de la caldera trae como beneficio un aprovechamiento de la energía que contiene esta purga. La medida es una mejora

operativa y de adquisición de equipo para el mejoramiento en las instalaciones.

En la práctica se ha visto que se alcanzan ahorros de 0.3% al 5.1% con respecto al consumo de combustible de la caldera, teniendo en promedio un ahorro de la energía utilizada en vapor verificable del 1.8%. El costo de implementación tiene un periodo simple de recuperación de la inversión menor a 3 años, en promedio.

Marco de referencia

Práctica común es que las purgas realizadas en la caldera, siempre son arrojadas a la alcantarilla, desaprovechando el contenido de calor que esta agua tiene. De hecho, cada vez que se realizan las purgas siempre se aprecia como el agua flashea.⁵⁶

El dejar que el agua de purga se deseche directamente a la alcantarilla provoca dos situaciones:

- Dejar de aprovechar la energía que tiene almacenada: cuando el agua de purga sale con la misma temperatura y la misma presión de la caldera, por ello, tiene un alto contenido energético que es desperdiciado.
- Provocar una situación de riesgo laboral: cuando el agua de purga sale al drenaje, el agua se flashea provocando una nube de vapor con cierta temperatura, que puede causarle quemaduras leves, o sofocación a alguna persona que podría estar pasando por el lugar.

Mejores prácticas

Una muy buena práctica es el recuperar el calor que contiene la purga de la caldera, esto es, mediante un intercambiador de calor para precalentar el agua de alimentación a la caldera.

Toda caldera con purga continua superior al 5% de la tasa de vapor es un buen candidato para la introducción de recuperación de calor de la purga de residuos. Se pueden alcanzar mayores ahorros de energía cuando se aprovechan las purgas en las calderas de alta presión.

La Tabla 10 muestra el potencial de recuperación de calor de purga de la caldera.

Tabla 10. Tasa de recuperación de calor por purgas continuas, de superficie de calderas

Tasa de purga de caldera en % respecto al agua de alimentación	Tasa de calor posible a recuperar, Millón de Btu por hora (MMBtu/h)				
	Presión de vapor (psig)				
	50	100	150	250	300
2	0.45	0.5	0.55	0.65	0.65
4	0.9	1.0	1.1	1.3	1.3
6	1.3	1.5	1.7	1.9	2.0
8	1.7	2.0	2.2	2.6	2.7
10	2.2	2.5	2.8	3.2	3.3
20	4.4	5.0	5.6	6.4	6.6

Fuente: U.S. DOE (United States Department of Energy)

El calor de purga se puede recuperar ya sea en un intercambiador de calor, en un tanque de vapor flash,⁵⁷ o en el tanque flash en combinación con un intercambiador de calor. La reducción de la presión en un tanque de expansión permite que una parte de la purga se convierta en vapor de baja presión, para posteriormente utilizar dicho vapor en un deareador.

Como ejemplo de instalación, en la Ilustración 19 se presenta un sistema de recuperación de calor de purga de caldera, donde además se recupera vapor flash formado de la purga. El agua de la caldera a temperatura de saturación es purgada de la caldera a través de una válvula al tanque de revaporizado. Una proporción del agua de purga revaporizará a la presión reducida, normalmente a 0.2 bar.

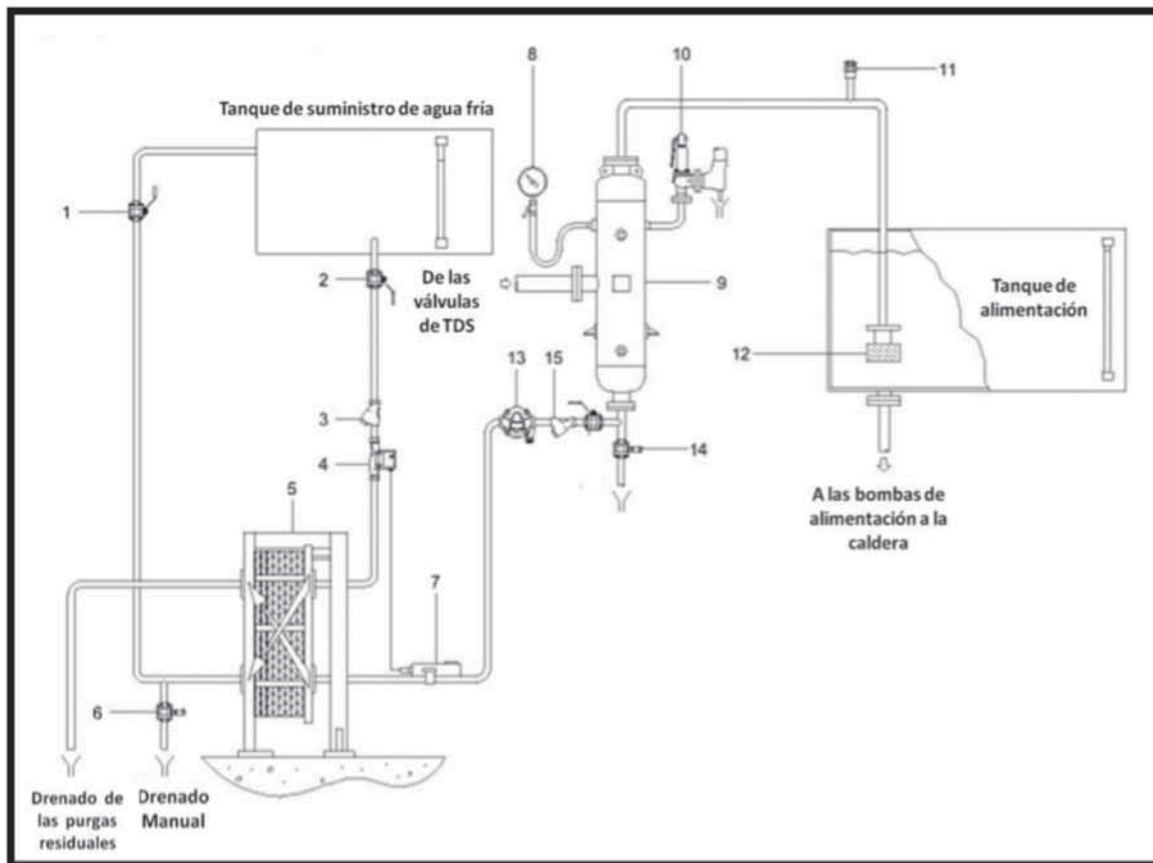
El tanque de revaporizado permite separar el revaporizado e introducirlo directamente en el tanque de alimentación. Esto aumenta la temperatura del agua de alimentación reduciendo el nivel de corrosión producido por el oxígeno disuelto.

El revaporizado condensa en el tanque de alimentación reduciendo la necesidad de tratamiento del agua. Con el sistema de intercambiador de calor, la purga residual pasa a través de una trampa de vapor tipo boya y a través del intercambiador de placas, donde el calor sensible es usado para calentar el agua fría tratada del tanque de almacenamiento.

La bomba de circulación es controlada por un termostato para controlar la eficiencia energética óptima, circulando sólo cuando hay calor a recuperar.

57 Al vapor flash también se le conoce como revaporizado.

Ilustración 19. Sistema de recuperación de calor de purga de caldera



Fuente: Spirax Sarco

En la Tabla 11, se enlista los componentes que integran un sistema de recuperación de calor de la purga de caldera.

Tabla 11. Listado de componentes del sistema de recuperación de calor de purga de caldera

Parte	Componente
1, 2, 6, 14, 16	Válvula de interrupción
3, 15	Filtro
4	Bomba
5	Intercambiador de calor de placas
7	Termostato
8	Manómetro
9	Tanque de revaporizado
10	Válvula de seguridad
11	Rompedor de vacío
12	Distribuidor de vapor
11	Purgador de vapor de boya cerrada

Fuente: Spirax Sarco

El enfriamiento de la purga tiene la ventaja adicional de ayudar a reducir el riesgo térmico laboral, ya que se disminuye la temperatura de descarga de la purga que era de una temperatura superior a los 100°C a una temperatura baja en el sistema de alcantarillado.

Beneficios energéticos, económicos y período de recuperación de la inversión

La implementación de sistemas para la recuperación del calor de la purga de la caldera, trae como beneficios ahorros energéticos que van del 0.3% a los 5.1%.

Con respecto al período simple de recuperación de la inversión, se ha observado que este tipo de medidas para los sistemas de vapor tienen recuperación menor a los 3 años, en promedio.

Contexto técnico

Antes de llevar a cabo esta recomendación se tiene que tomar en cuenta:

1. Verificar el volumen de purga de superficie y de fondo que se lleva a cabo por día;
2. Verificar la presión y temperatura con las que salen los condensados;
3. Verificar el espacio para ubicar el sistema en la casa de la caldera.

5.8 Minimizar purgas de las calderas

Resumen

Al reducir la cantidad de agua que se purga de la caldera, puede evitarse pérdidas sustanciales de energía, ya que la temperatura del líquido purgado es la misma que la del vapor generado por la caldera. Si se disminuye la cantidad de purga, también reducirá el costo del agua de repuesto y su tratamiento.

En la práctica se ha visto que se alcanzan ahorros de 0.4% al 6.1% con respecto al consumo de combustible de la caldera, teniendo en promedio un ahorro de la energía utilizada en vapor verificable del 2.1%. El costo de implementación tiene un periodo simple de recuperación de la inversión de alrededor de un año, en promedio.

Marco de referencia

Cuando el agua se evapora al interior de la caldera, se separan los sólidos presentes en el agua de alimentación. Estos sólidos en suspensión forman lodos o sedimentos que reducen la transferencia de calor entre los gases de combustión y el agua. De forma paralela, los sólidos disueltos provocan espuma y acarreo de agua con el vapor.

Para reducir el nivel total de sólidos disueltos (TDS) y suspendidos (TSS) a límites aceptables,⁵⁸ periódicamente se tiene que descargar o purgar agua de la caldera.

En la Tabla 12 se presentan los valores máximos permisibles que la Asociación Americana de Fabricantes de Calderas recomienda.⁵⁹

58 Cada proveedor de caldera tiene establecido los niveles máximos permisibles, por lo que se recomienda ver el manual de operación de la caldera.
59 AMBA, sus siglas en inglés.

Tabla 12. Valores máximos permisibles de acuerdo con la Asociación Americana de Fabricantes de Calderas

Presión de trabajo (psig)	Sólidos totales disueltos (ppm)	Alcalinidad total (ppm)	Sólidos en suspensión (ppm)	Sílice (ppm)
0 – 300	3,000	700	300	125
3001 – 450	3,000	600	250	90
451 – 600	2,500	500	150	50
6001 – 750	2,000	400	100	35
751 – 900	1,500	300	60	20
901 – 1,000	1,250	250	40	8
1,001 – 1,500	1,000	200	20	2.5
1,5001 – 2,000	750	150	10	1.0
2,000 - mayor	500	100	5	0.5

Fuente: Alba González Margarita, Sandoval Carrillo, Alberto, Martínez Sánchez, Dionisio, Análisis de riesgos del tratamiento del agua para calderas. Ed. PyV

Otros valores recomendados se presentan en la Tabla 13, éstos son de la marca de calderas Cleaver Brooks.

Tabla 13. Valores para una caldera de tubos de humo, marca Cleaver Brooks, presión 0-300 psig

Concepto	Valor aceptable (ppm)	Valor límite (ppm)
Sólidos totales disueltos	800	2,000
Alcalinidad total	150	700
Dureza	0	0
Sólidos en suspensión	30	125
Sílice	80	125
Aceite, materia orgánica	2	7
Oxígeno	10 – 20	70
Bióxido de carbono	10 - 20	70

Fuente: Manual de Cleaver Brooks.

En general, existen dos tipos de purgado, el de fondo y el de superficie. En el primer caso, el purgado de fondo (o de lodos) es un procedimiento manual que se realiza en intervalos de varias horas y que dura unos cuantos segundos y tiene el propósito de eliminar los sólidos suspendidos que sedimentan en

el fondo, los cuales forman lodos muy espesos. Por su parte, las purgas de superficie o de espumas tienen como finalidad desechar los sólidos disueltos que se concentran cerca de la superficie del líquido. Generalmente, este tipo de purga es un proceso continuo.

El llevar a cabo un purgado en exceso o insuficiente provoca los siguientes problemas:

- Purgado insuficiente: se presentan arrastres de agua en la corriente de vapor, como también la formación de depósitos (incrustaciones) en las tuberías de la caldera;
- Purgado en exceso: desperdicio de energía,⁶⁰ de agua y productos químicos.

La cantidad correcta de la purga es determinada por varios factores, entre los que destacan:

- Tipo de la caldera;⁶¹
- Presión de operación;
- Calidad de agua de reposición en el sitio;⁶²
- Cantidad y calidad de recuperación de condensado.⁶³

Mejor práctica

El objetivo de esta operación es la extracción de sólidos disueltos y en suspensión dentro de la caldera, ya que al vaporizarse el agua al interior de la caldera, la concentración de sólidos aumenta en el agua que queda, lo cual puede conducir a la formación de

depósitos en las superficies metálicas, que reducen significativamente la tasa de transferencia de calor de los gases de combustión al agua, reduciendo con ello la eficiencia de la caldera.

La purga se realiza extrayendo agua de la parte inferior de la caldera, donde se depositan los sólidos.

Hay que buscar el nivel adecuado de purga que se le debe dar a la caldera. Una purga insuficiente no impide la formación de fangos, incrustaciones y arrastres mientras que una purga excesiva producirá pérdidas de calor elevadas.

La cantidad de purga va normalmente del 4% al 8% de la cantidad de agua de repuesto, pero puede ser tan elevada como el 10% cuando ésta tiene un alto contenido de sólidos.

En la Ilustración 20 se muestra un sistema de control automático de purga de caldera. El sistema funciona cuando el controlador mide continuamente con la sonda lateral, la conductividad del agua de la caldera, que está directamente relacionada con el nivel del total de sólidos disueltos (TDS). Este valor medido es comparado con el punto de ajuste en el controlador. Si es menor al valor requerido, la válvula de purga permanece cerrada. Si es mayor, la válvula de purga abre hasta que el valor medido esté por debajo del punto de ajuste.

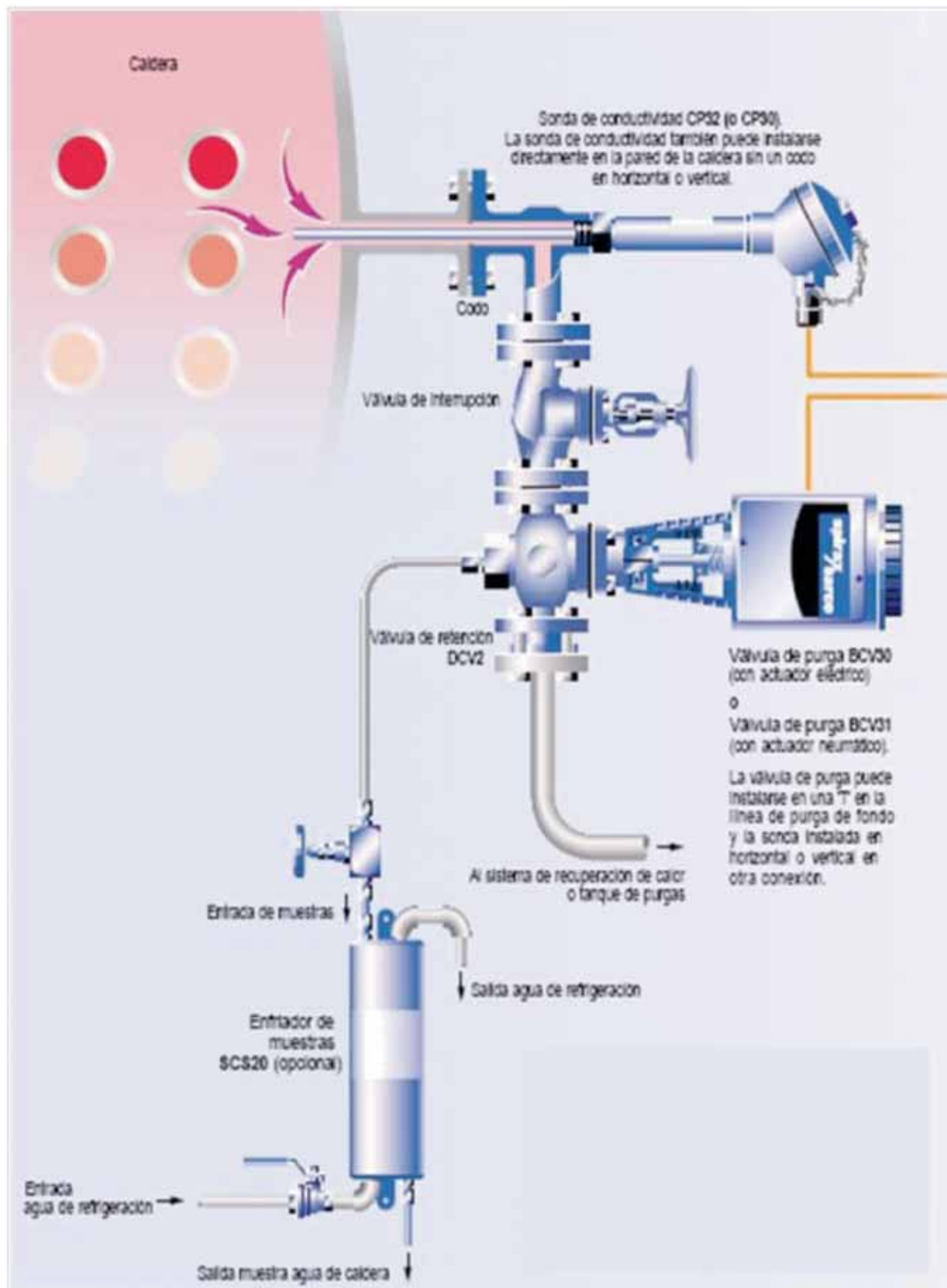
60 El agua purgada o eliminada cuenta con la misma temperatura en el interior de la caldera, y sale a la presión que también tiene el interior de la caldera, por lo que contiene la misma cantidad de energía. Por ello, eliminar una mayor cantidad de agua en la purga es botar prácticamente dinero, ya que la energía no se vuelve a recuperar.

61 Para mayor referencia vea el manual de operación y/o de mantenimiento de la caldera.

62 De acuerdo al sitio donde se ubique la caldera, se deberá llevar a cabo un análisis de agua, para que con ello se determine el tipo de tratamiento que se deberá dar al agua de reposición. Una buena medida es llevar una bitácora, donde se describa el análisis del agua cruda, el tipo de químicos usados para su ablandamiento así como las cantidades suministradas.

63 Una buena práctica es contar con el análisis químico del condensado recuperado, ya que ingresar un condensado turbio a la caldera traerá problemas operativos. Esta práctica se podrá realizar por la propia empresa siempre y cuando cuente con laboratorio químico, o bien, por la empresa del servicio de tratamiento de agua.

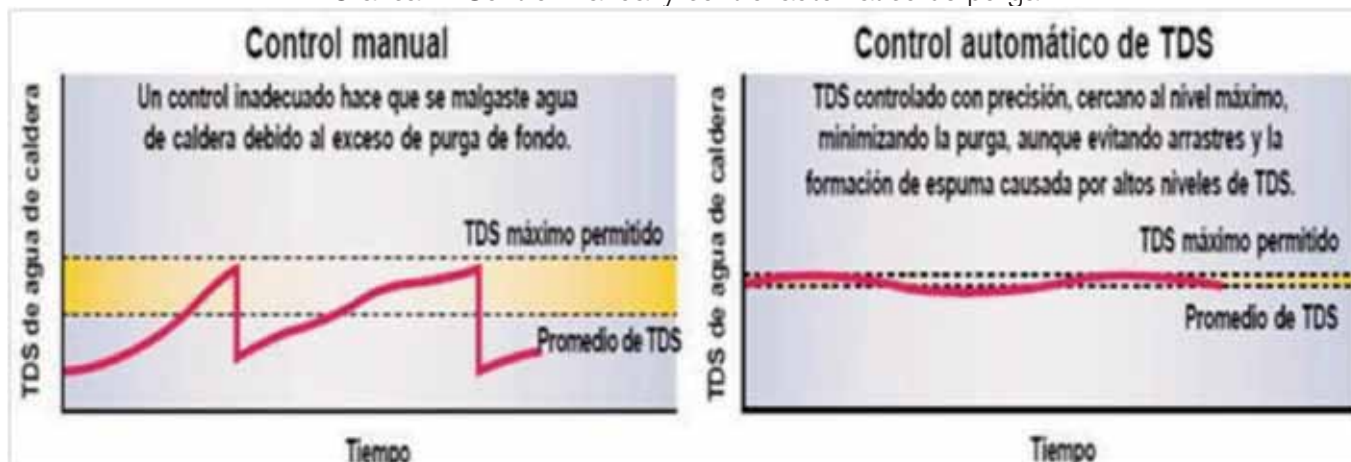
Ilustración 20. Sistema de control automático de purga de caldera



Contexto técnico

En la Gráfica 4 se presenta el comportamiento de llevar a cabo una purga manual y una purga automática. En ella se aprecia que, cuando se practica la purga manual, la cantidad de agua que es desalojada es mayor que en el caso de la purga automática, ya que la primera se realiza de acuerdo a los criterios de los análisis del agua que, muchas veces, se realizan una vez a la semana,⁶⁴ mientras que en la purga automática se monitorea en tiempo real el nivel de TDS (total de sólidos disueltos).

Gráfica 4. Control manual y control automático de purga



Fuente: Spirax Sarco

5.9 Correcta operación y mantenimiento de las trampas para condensados

Resumen

El mantener en condiciones óptimas la operación de las trampas para condensados, trae como beneficio que los procesos de transferencia de calor se lleven a cabo de manera eficiente. Aunque la correcta operación depende de varios factores, tales como: una buena selección del tipo de trampa y una correcta instalación, que el sistema no presente golpes de ariete y que exista un programa de mantenimiento adecuado, entre otras. La medida es una mejora operativa y de mantenimiento.

Por ello, es importante revisar la operación en las trampas para condensados, ya que con esto se aprovecha de mejor manera la energía que contiene el vapor y los condensados al momento de retornarlos a la caldera.

En la práctica se ha visto que se alcanzan ahorros desde un 0.01% hasta un 3.8% con respecto al consumo de combustible de la caldera, teniendo en promedio un ahorro de la energía utilizada en vapor verificable del 1.3%. El costo de implementación tiene un periodo simple de recuperación de la inversión de 0.6 años en promedio.

Marco de referencia

Cuando el vapor ingresa a los equipos de proceso, el calor es transferido a través de las paredes al fluido o producto para su calentamiento. Como el vapor cede su calor éste condensa. El condensado así formado comienza a acumularse en el espacio destinado para el vapor en el equipo. Sin embargo, el mismo vapor va empujando al condensado recién formado aguas arriba. El uso de las trampas para condensados justamente es para drenar el condensado formado sin permitir fugas de vapor.

⁶⁴ La frecuencia de los análisis químicos del agua de caldera depende del tamaño de la misma, así como del nivel de mantenimiento de cada empresa. En calderas grandes y donde se tenga operando más de una caldera, por lo general los análisis son cada semana e inclusive, se practican a diario como es el caso de la industria azucarera. Mientras que, en industrias pequeñas y medianas, el análisis se realiza cada mes, cada tres meses o cada medio año.

Una práctica antigua era que la carga de condensados era desalojada mediante la apertura de una válvula común, en lugar de una trampa para condensados. Esto se efectuaba con el solo hecho de ajustar manualmente la apertura de la válvula para desalojar la cantidad de condensado que se generaba. Teóricamente, esto es posible. Sin embargo, el rango de las condiciones necesarias para lograr esto son bastante limitadas y en la práctica no es una solución realista.

El mayor problema con este método es que al tener fija la apertura de la válvula, para descargar una cantidad fija de fluido, significa que las fluctuaciones en la carga de condensado no podrán ser compensadas. De hecho, la cantidad de condensado que es generado en un determinado sistema no es fija. Otro problema adicional es que por lo regular se escapa vapor vivo a la atmósfera, además del vapor que se flashea del condensado.

Cabe mencionar que la carga de condensado, al arranque del sistema, difiere de la carga generada durante la operación normal, ya que en el primer caso la generación de condensado es mayor por el precalentamiento del sistema, mientras que en el segundo caso, la generación de condensado se estabiliza y se podría decir que es constante, aunque las fluctuaciones en la carga del producto también impactan en la cantidad de generación de condensado. De manera similar, en el caso de tuberías para el transporte de vapor, la carga de condensado podría diferir dependiendo de la temperatura y/o velocidad del aire exterior o como resultado de una fuerte lluvia, si las tuberías se encuentran en el exterior, de igual manera afecta si éstas están aisladas o no.

Por ello, es indispensable cuantificar el condensado que se genera en el sitio en el que se lo desee desalojar, ya sea en la distribución de vapor o en los equipos de proceso.

Un problema que se produce por una mala selección en el tipo de trampas para condensados es que éstas no respondan adecuadamente a las fluctuaciones en la carga del condensado, ya que puede suceder que el condensado que debería ser descargado se acumule dentro del equipo o tubería, por lo que se

verán afectados, ya sea la eficiencia de calentamiento o el transporte del vapor. Por otro lado, cuando la carga de condensado disminuye, podría resultar en una fuga de vapor, desperdiándose de esta manera vapor.

Una condición muy particular es que cuando el sistema de vapor se interrumpe o sale totalmente de operación, el aire ingresa en las tuberías para ocupar el espacio del vapor en compañía del condensado generado. Por lo tanto, otra función adicional de las trampas para condensados será desalojar ese aire en el momento de arranque de estos sistemas, o bien, se deberá instalar eliminadores de aire.

En resumen, las tres importantes funciones de las trampas para condensados son:

- Descargar condensado;
- No permitir escape de vapor;
- Ser capaces de desalojar aire y gases.

Existen varios tipos de trampas para condensados. Entre las más utilizadas se encuentran las que se muestran en la Ilustración 21 y cuyas características se describen a continuación:

- Termostáticas: se ajustan automáticamente a las variaciones de la presión del vapor, son trampas con excelentes características en la eliminación de aire durante la puesta en marcha de la planta y funcionamiento normal. Gran capacidad de descarga por su tamaño. Diseño robusto de partes internas que proporcionan una larga vida útil.
- Termodinámicas: éstas tienen una sola parte en movimiento – un disco de acero inoxidable endurecido – dando una descarga intermitente y un cierre perfecto, son capaces de resistir el vapor recalentado, los golpes de ariete, el condensado corrosivo y vibraciones. Son la mejor elección para la eliminación de condensado de sistemas de distribución de vapor.
- Flotador o de boya: son trampas muy versátiles, trabajan perfectamente tanto con cargas

de condensado grandes como pequeñas, son de tamaño compacto. Capacidad de descarga alta y continua para asegurar una transferencia de calor máxima. Las trampas de boya cerrada son la mejor elección para el drenaje de plantas con control automático de temperatura. Incorporan un elemento termostático eliminador de aire como estándar y un dispositivo antibloqueo por vapor como opción.

- Termostática de presión balanceada: pueden conservar energía al descargar condensado subenfriado en aquellas aplicaciones que utilizan el

calor sensible. Soportan los golpes de ariete y condensado corrosivo.

- Cubeta invertida; son las más robustas de los purgadores mecánicos, resisten los golpes de ariete, además, con una válvula de retención montada en la entrada, pueden ser usadas con vapor recalentado. Se dispone de una amplia gama de orificios de válvula para poder trabajar con distintas presiones y cargas.

Ilustración 21. Tipos de trampas para condensados



Fuente: Spirax Sarco

Tabla 14. Cuadro resumen del uso de las trampas

Aplicación	Gama FT (boya-termostático)	FT-C (boya-termostático con SLR)	TD (Termodinámico)	BPT (Presión equilibrada)	SM (Bi-metálico)	No.8 (Expansión líquida)	Gama IB (Cubeta invertida)
Equipos de cocina							
Marmitas de doble fondo	A	B	B1	B			
Marmitas basculantes		B		A2, 5			
Marmitas fijas	B			A2, 5			
Hornos				A2, 5			
Placas calientes	B			A2, 5			
Tanques de almacenamiento	A						B1
Calentadores en línea	A						B1
Calentadores en salida	A						B1
Líneas de acompañamiento			B	A	B2 (solo no críticas)		B
Tuberías encamisadas			B1, 6	A5			B1
Equipos para hospitales							
Autoclaves y esterilizadores	B	B		A5			
Secadores industriales							
Serpentines	A		B1	B			
Parrillas			B1	A			B1
Cilindros secadores	B	A					B1
Túnel de secado	A		B1	B			B1
Máquinas multicilíndricas	B	A					B1
Equipo de lavanderías							
Máquinas para planchar prendas	B	B	A6				
Máquinas para planchar en continuo	B	A	B1	B5			
Máquinas para limpieza en seco	A		B1				
Secadores rotativos	A	B					
Prensas							
Prensas de platos múltiples (conexión en paralelo)	B		A6				
Prensas de platos múltiples (conexión en serie)			A1, 6				
Prensas para vulcanización	B		B1	A			B1
Equipos de procesos industriales							
Calderetas fijas	A	B	B1	B			
Calderetas basculantes	B	A					
Alambiques para cerveza	A1	B					
Autoclaves con camisa	A1		B1				
Evaporadores	A1	B					B1

Aplicación	Gama FT (boya- termostá- tico)	FT-C (boya- termos- tático con SLR)	TD (Termodi- námico)	BPT (Presión equilibra- da)	SM (Bi- metálico)	No.8 (Ex- pansión líquida)	Gama IB (Cubeta invertida)
Mesas calientes	B		B6	A2			
Autoclaves inyección directa	A						
Tanques de almacenamiento	A						B1
Autoclaves vulcanización	A		B1 (solo camisa)				B1
Calefacción de locales							
Intercambiadores de calor	A4						
Baterías calefactoras	A4						
Paneles y tubos radiantes	A	B1	B1				B1
Radiadores	B			A	B		
Serpentines suspendidos	B			A			B1
Tuberías de vapor							
Tramos horizontales	B		A				B
Separadores	A		B				B
Final de línea	B		A1				B1
Drenaje de parada (protección de heladas)					B3	B	A
Drenaje de calentadores	A		B6				B
Depósitos y recipientes							
Depósitos (descarga por elevación)	B	B	A	B5			B
Depósitos (descarga por gravedad)	A		B6	B5			
Depósitos pequeños (hervido rápido)	A			B5			
Depósitos pequeños (hervido lento)					B	A	

Fuente: Spirax Sarco

Notas:

A. Mejor elección

B. Alternativa aceptable

1. Con eliminador de aire en paralelo.

2. Con tubo de enfriamiento. Longitud mínima 1 m.

3. Usar elementos con temperatura fija de descarga.

4. Si el equipo está controlado por temperatura, puede necesitar una bomba purgador.

5. Con cápsula de Temperatura de descarga próxima a vapor.

6. Con disco antibloqueo por aire.

Como se ha comentado, las trampas para condensados son equipos indispensables para drenar los condensados, ya que separan la fase de vapor del agua condensada y eliminan el condensado en el sistema. Con esto se asegura una operación adecuada en los sistemas de vapor ya que se mantiene las condiciones de operación óptimas (ver Tabla 14).

Sin embargo, las trampas llegan a presentar fallas muy típicas, las cuales pueden ser dos tipos, que son: abiertas o parcialmente abiertas y cerradas. En ambos casos, los motivos por lo que se presentan las fallas son debido a:

- Desgaste: internamente las partes de las trampas se van desgastando por la erosión que provoca el contacto del metal con el vapor y el agua;
- Suciedad: en ciertas ocasiones el vapor llega a arrastrar partículas que se llegan a depositar en las trampas, por lo que las abre parcialmente o las cierra;
- Corrosión por condensado ácido: derivado del tipo de tratamiento del agua y de una posible combinación del vapor con producto, se puede arrastrar trazas de ácido, por lo que al llegar a ciertos elementos como son las trampas, éstas sufren de corrosión, provocando un mal funcionamiento en ellas;

- Golpe de ariete: por el arrastre de condensado a alta velocidad, choca con las partes internas de la trampa, por lo que las daña.

La falla cerrada se da de un 15 hasta 30% de las trampas, esto debido a que los sistemas de vapor no reciben mantenimiento por más de tres años. Dentro de las repercusiones que este tipo de falla provoca en el sistema de trampeo se tiene:

- Anegamiento (inundación del equipo): puede causar pérdidas del producto;
- Bajo rendimiento en la transferencia de calor: se presenta un inadecuado calentamiento del proceso, por lo tanto hay pérdida de tiempo y de energía;

La falla abierta en el sistema de trampeo provoca principalmente fuga de vapor, con los valores equivalentes que se muestran en la Tabla 15. Estos casos representan los siguientes riesgos.

- Altos costos por pérdidas de vapor vivo: los costos son de combustible, más costos de químicos para el tratamiento del agua.
- Seguridad en el proceso: provoca un incremento en la temperatura ambiente y también se genera riesgos de quemaduras.

Tabla 15. La pérdida de vapor por orificios de trampas que fallan abiertas

Medida de trampa (mm)	Medida de orificio (mm)
15	3
20	5
25	7.5
40	10
50	12.5

Fuente: Spirax Sarco

Mejores prácticas

En un sistema de vapor sujeto a un programa de mantenimiento continuo y adecuado, el número de trampas que falla no debe superar el 5% del total.

Se sugiere el establecimiento de un programa de revisión para detectar oportunamente las trampas que fallan y poder repararlas. Para esto, se sugiere elaborar un formato de reporte para asegurar la cobertura

de todas las trampas y establecer un mecanismo que documente los ahorros de energía y económicos.

Existen cuatro formas básicas para revisar el funcionamiento de las trampas: por temperatura, sonido, visualmente y electrónicamente. En la fotografía de la derecha de la Ilustración 22 se presenta un equipo de ultrasonido que es utilizado en la inspección. En la fotografía de la izquierda se presenta a una persona realizando una inspección de una trampa en un cabezal de vapor exterior.

Ilustración 22. Sistema de control automático de purga de caldera



Fuente: Spirax Sarco y CySTE

Los intervalos recomendados para la revisión del sistema de trampeo:

- Sistema de alta presión (más de 10 kg/cm²): semanal o mensual;
- Sistema de presión media (de 2 a 10 kg/cm²): mensual o trimestral;
- Sistema de baja presión (menos de 2 kg/cm²): anual.

Beneficios energéticos, económicos y período de recuperación de la inversión

La implementación de la revisión y corrección de las trampas para condensados, buscando su correcto funcionamiento, trae como beneficios ahorros energéticos que son del orden del 3.8%, con respecto al consumo del combustible en la caldera.

La inversión requerida es baja y, aunque se adquieran los equipos de medición y se capacite al personal, por los beneficios económicos se vuelve una medida altamente rentable.

Con respecto al período simple de recuperación de la inversión se ha observado que este tipo de medidas para los sistemas de vapor tienen un tiempo de recuperación menor al año.

Contexto técnico

Las acciones que deben llevar a cabo en la planta para la implementación de esta medida se describen en la Tabla 16. Cabe hacer mención que se podrán llevar a cabo por personal encargado de mantenimiento.

Tabla 16. Lista de actividades para monitorear la correcta operación de las trampas para condensados

No	Actividad	Desarrollo	Sitio
1	Levantamiento de la ubicación de las trampas para condensados en los sistemas de generación y distribución de vapor y de sus usuarios.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar la cantidad, tipo y ubicación de las trampas para condensados que se encuentren instaladas en el sistema de distribución de vapor, tales como cabezales distribuidores de vapor, válvulas, reguladores de presión, manómetros, termómetros; 2. Determinar, por punto de retorno de condensados, el volumen manejado, con el propósito de saber si la trampa que se encuentra ubicada es la correcta o no, o bien, en caso de no contar con una, instalar la que le corresponda; 3. Una vez obtenida la información, se debe de asignar una codificación a cada trampa para condensados identificada, con el propósito de tener un orden y control de cada una de ellas. Con ello se podrá facilitar el recorrido de inspección. En este sentido, se recomienda colocar a cada una de las trampas identificadas y codificadas, una placa, donde se indiquen sus datos para que al momento de llevar a cabo la inspección, ésta sea mucho más fácil. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema de generación de vapor; (cuarto o casa de caldera); 2. Sistema de distribución de vapor; 3. Equipos que usan vapor.
2	Recorridos de inspección programados a los sistemas de generación y distribución de vapor y de sus usuarios.	<p>Las herramientas para llevar a cabo los recorridos de inspección son:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Planos o lay out con la codificación de las trampas a revisar; 2. Listado de trampas para identificar el tipo de mantenimiento; 3. Equipo para la revisión, que puede ser termómetro y equipo ultrasónico 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema de generación de vapor (cuarto o casa de caldera); 2. Sistema de distribución de vapor; 3. Equipos que usan vapor.
3	Programación de actividades de mantenimiento para la reparación o sustitución de trampas para condensados	<p>De acuerdo a los resultados de la inspección y a la complejidad de las reparaciones, éstas se deberán programar en función de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La ubicación de la trampa; 2. El tipo de operación. <p>Nunca se debe reparar cuando proceso se encuentre operando, ya que al hacer cualquier maniobra y estando presurizado el sistema, se provocan altos riesgos laborales.</p>	<p>Departamento de mantenimiento.</p>

5.10 Reducir la presión del generador de vapor

Resumen

El reducir la presión en la generación de vapor es una medida operativa, que se aplica en el área de la generación de vapor y en el lado de los usuarios, desarrollando buenas prácticas de operación. Esta recomendación no representa altas inversiones, pero sí un buen control de las operaciones, mediante el monitoreo de aquellas que lleguen a ser críticas, y la capacitación del personal de planta encargado de llevar a cabo este control.

Los ahorros se encuentran entre un 0.3% y un 1.3% con respecto al consumo de combustible en la generación de vapor. El período simple de recuperación de la inversión es inmediato, ya que las inversiones son bajas o nulas.

Marco de referencia

Una práctica común, que se presenta en la industria, es que a menudo el área de producción solicite al operador de la caldera que incremente la presión, con el propósito de cubrir los requerimientos de los equipos del proceso. El fenómeno que se presenta por este tipo de operación es que a medida que la presión del vapor en la caldera se incrementa, también aumentan las pérdidas de energía, derivando en un mayor consumo de combustible.

Para alcanzar el punto óptimo en la operación de la caldera, la empresa debe identificar las necesidades reales de vapor que requieren los equipos del proceso, ya que sostener una operación no eficiente trae como consecuencias incrementar la presión del generador de vapor, haciendo que los costos en la generación del vapor se eleven.

Por otra parte, es recomendable verificar si realmente se necesita más presión en el vapor o bien, pues puede suceder que exista uno o más de los siguientes problemas:

1. Demasiadas fugas de vapor, tanto en la línea de vapor, como en los equipos de proceso;
2. Inundaciones en la línea de vapor y en los equipos de proceso; este problema hace que se requiera de más vapor, con el objetivo de empujar prácticamente al condensado y forzarlo a que desaloje el área que debería estar ocupando el vapor, eso se origina por:

a. Las líneas de vapor no cuentan con drenaje de condensado o tienen pocos puntos de estos drenajes;

b. Mal funcionamiento de las trampas para condensados en la línea de vapor; en ocasiones, las trampas llegan a fallar debido a que tienen suciedad, o que no son las adecuadas para la aplicación, ya sea que estén sobredimensionadas o subdimensionadas;

c. Mal funcionamiento de las trampas para condensados en los equipos de proceso; misma situación que la anterior.

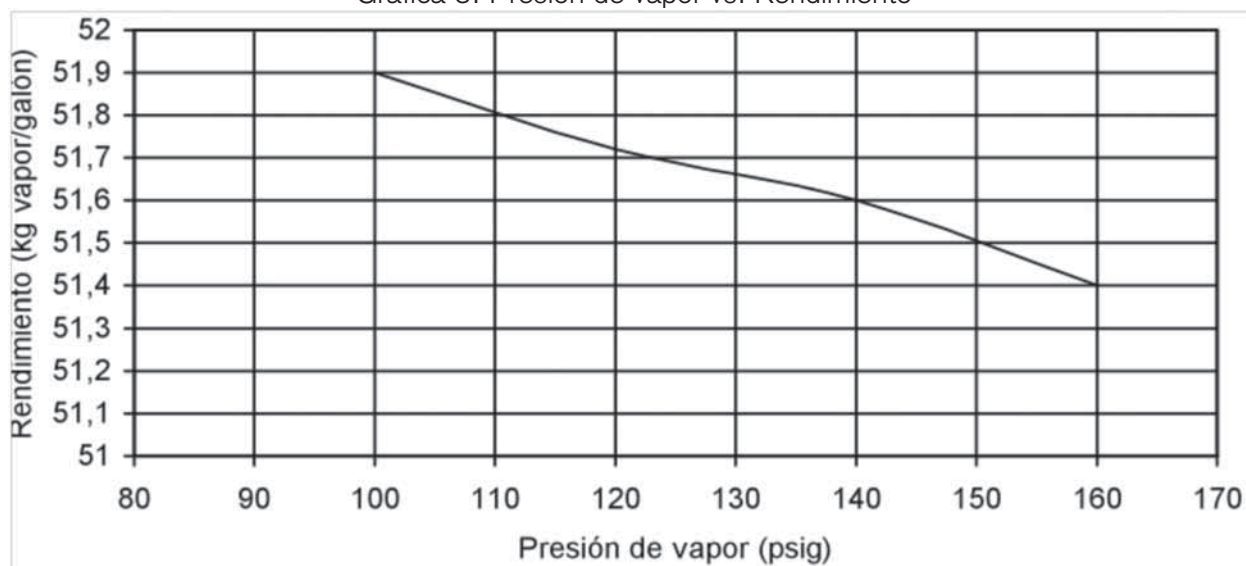
Por ello, es importante realizar pruebas para determinar los requerimientos reales de vapor, para identificar la presión adecuada con la que operan los equipos, sin que ello afecte en algún momento, las operaciones, el proceso o el mismo desempeño de los equipos.

Mejores prácticas

Una vez verificados los puntos anteriores, se recomienda ajustar la presión de generación y reducirla a la presión de operación óptima, cuidando en todo momento el desempeño y la repercusión en las operaciones, así mismo asegurar buen desempeño del generador de vapor.

Con base en la experiencia en este tipo de proyectos, se ha construido la Gráfica 5., donde se aprecia el comportamiento del rendimiento que la caldera presenta cuando varía la presión en la generación de vapor y el rendimiento (eficiencia) de la caldera.

Gráfica 5. Presión de vapor vs. Rendimiento



Fuente: Uso Racional de la Energía "Manual para Consultores y Expertos, CDG – PAE/MEM, Perú, 1999 Cap. 2

A continuación se enlistan algunas desventajas al reducir demasiado la presión en la generación de vapor (precaución):

- Incremento del arrastre de humedad en el vapor;
- Excesivas velocidades en las tuberías existentes;
- Funcionamiento inadecuado de trampas e instrumentos sensibles a la temperatura;
- Menor transferencia de calor en los equipos usuarios del vapor, por lo que se presenta una pérdida en el rendimiento de estos equipos.

Beneficios energéticos, económicos y período de recuperación de la inversión

La aplicación de esta medida es operativa, por lo que no requiere inversión, ya que sólo se necesita reajustar la presión en la generación de vapor y ajustar, en caso que existiere, la válvula reductora de presión. Esto se puede lograr a prueba y error hasta que el sistema logre estabilizarse. Considerando que la inversión es nula, el período de recuperación es inmediato. Los ahorros se estiman en alrededor del 1,3%, con respecto al consumo de combustible.

5.11 Desincrustación en tuberías internas en la caldera

Resumen

La desincrustación en las tuberías internas de la caldera (fluxes) es una medida correctiva de mantenimiento, la cual se debe practicar cuando se da mantenimiento general a la caldera.

En la práctica se ha visto que se alcanzan ahorros del 0,3% al 3,1%, con respecto al consumo de combustible de la caldera, teniendo en promedio un ahorro de la energía utilizada en vapor verificable del 1,7%. El costo de implementación tiene un período simple de recuperación de la inversión de 0,5 años, en promedio.

Marco de referencia

El no contar con un adecuado monitoreo y tratamiento del agua, que ingresa a la caldera, provoca que ciertas sustancias que son arrastradas por el agua de alimentación, se depositen en los fluxes,⁶⁵ haciendo que se formen incrustaciones en sus paredes. Las incrustaciones aparecen cuando el calcio, el magnesio y la sílice (presentes normalmente en la mayoría de los suministros de agua), reaccionan y forman una película continua de material, en el lado del agua de los tubos de la caldera.

⁶⁵ Los fluxes son la tubería, ya sea que transportan agua o los gases de combustión.

Las incrustaciones en las superficies de contacto en los fluxes (típicamente de color blanco ver Ilustración 23), inhiben la transferencia de calor,⁶⁶ de los productos de la combustión al agua de la caldera y, por lo tanto, llevan a menores eficiencias de generación de vapor.

Ilustración 23. Incrustaciones formadas en tuberías internas de una caldera



Fuente: CySTE

Es normal que con el paso del tiempo se vaya formando una capa de incrustación,⁶⁷ cuya naturaleza depende de los elementos presentes en el agua interna, así como del tipo de tratamiento que se le dé al agua y las condiciones de operación de la caldera.

Por ello, al momento de presentarse incrustaciones, el consumo de combustible se incrementa en forma directamente proporcional al espesor de la capa de incrustación.

- El no llevar a cabo un buen control en el tratamiento de agua, así como el no realizar una limpieza profunda a la caldera, trae como consecuencias:
- Incrementar la corrosión, ya que puede haber presencia de oxígeno disuelto o de dióxido de carbono que torna al agua ligeramente ácida, lo que acelera el proceso de oxidación;
- Provocar que el metal se vuelva quebradizo, una alta alcalinidad en el agua de la caldera puede ser la causa de que el metal se vuelva quebradi-

zo, agrietándose alrededor de los remaches y en extremidades de los tubos donde se fijan en los espejos, por lo que hay que cuidar que el tratamiento no vuelva alcalina al agua;

- Incrementar el consumo de combustible, toda vez que la incrustación forma una capa aislante en los tubos, hace que no exista una buena eficiencia en la transferencia de calor, por lo que la caldera aumenta su régimen y, por ende, el consumo de combustible para poder producir el vapor que necesita el proceso.

El desperdicio de combustible que ocasiona la incrustación puede llegar a ser del 2% en calderas del tipo tubos de agua y hasta el 5% en las del tipo tubos de humo.

En la Gráfica 6 se muestran las pérdidas de energía en función del espesor y composición de la incrustación, donde se podrá observar que, conforme el espesor de la incrustación es mayor, el consumo en el combustible también es mayor.

⁶⁶ Las incrustaciones poseen una conductividad térmica menor que la del acero con el que están hechos los tubos. Incluso, las capas de incrustación delgadas funcionan como un aislante y retardan la transferencia de calor. Como resultado, se produce un sobrecalentamiento en los tubos de la caldera, pérdida de la eficiencia energética y hasta llegan a romperse los tubos.

⁶⁷ Por lo general, en aplicaciones de baja presión. Las incrustaciones de hierro y las de hierro - sílice aparecen en aplicaciones en alta presión.

Gráfica 6. Curva de incremento en el consumo de combustible respecto al incremento en el espesor de la incrustación en mm.



Fuente: Cek de Centroamérica, "Minimizando impactos ambientales y económicos de a través de manejos de caldera de vapor y sistemas de enfriamientos

Mejores prácticas

Con el objetivo de reducir las incrustaciones para mejorar la transmisión de calor y así incrementar la eficiencia de la caldera, se recomienda:

1. Llevar a cabo un correcto tratamiento del agua de ingreso a la caldera;
2. Realizar periódicamente una desincrustación a la caldera, ya sea mediante lavado manual o tratamiento químico.

Beneficios energéticos, económicos y período de recuperación de la inversión

La experiencia ha demostrado que el desperdicio de combustible que ocasiona la incrustación puede llegar a ser del 0.3% al 3.1%. En la Tabla 17, se muestran las pérdidas de energía en función del espesor y composición de la incrustación.

Tabla 17. Pérdidas de energía por incrustaciones

Pérdidas de energía por incrustaciones				
Espesor de incrustación		Pérdida de combustible (%)		
		Tipo de incrustación		
plg	mm	"Normal"	Hierro	Hierro y Sílice
1/64	0.4	1.0	1.6	3.5
1/32	0.8	2.0	3.1	7
3/34	1.2	3.0	4.7	--
1/16	1.6	3.9	6.2	--

Fuente: CONUEE. Consejos para ahorrar energía en sistemas de vapor, pág. 9

Este tipo de medidas presenta un período simple de recuperación de la inversión de medio año, en promedio.

Contexto técnico

Las acciones que se tienen que llevar a cabo son las siguientes:

Tabla 18. Lista de actividades a desarrollar para disminuir la formación de incrustaciones en la caldera

No	Actividad	Desarrollo	Sitio
1	Monitorear el agua de alimentación a la caldera y la purga de la caldera.	Mantener los límites permisibles de calcio, magnesio y sílice. Estos límites, por lo general, se encuentran en el manual de la caldera. En caso de que no sea así, consulte al proveedor del servicio de tratamiento de agua y tome como valores de referencias los que se encuentran en la Tabla 12.	Sistema de tratamiento de agua.
2	Monitorear la temperatura de los gases en chimenea.	Un indicador indirecto de la formación de depósitos o incrustación es la temperatura de los gases en chimenea. Si esta temperatura aumenta, para una carga de la caldera y un exceso de aire, constantes, el efecto se debe posiblemente a la presencia de incrustación.	Chimenea.
3	Realizar inspecciones visuales a los fluxes de la caldera.	Inspeccionar visualmente los tubos cuando la caldera se encuentra fuera de operaciones y abierta por mantenimiento. La eliminación de la incrustación puede hacerse por medios mecánicos o por tratamiento con ácido. Si encuentra depósitos o incrustación, consulte con un especialista para modificar el tratamiento de agua y el programa de suministro de aditivos.	Caldera.

- Armstrong, “Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados”, Estados Unidos, 1998.
- ASME POWER TEST CODE Código PTC 4.1 de pruebas de potencia para unidades de generación de vapor, 1964.
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, “Bases para el Ahorro de Energía en Calderas y Sistemas de vapor”, México, 2007.
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, “Eficiencia en Calderas y Combustión”, México, 2007.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, “Diseño y Cálculo del Aislamiento Térmico de Conducciones, Aparatos y Equipos”, España, 2007.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, “Procedimiento de Inspección Periódica de Eficiencia Energética para Calderas”, España, 2007.
- Luis Alfonso Molina Igartua / Gonzalo Molina Igartua, Centro para el Ahorro y Desarrollo Energético y Minero, S.A. (CADEM), “Manual de EFICIENCIA ENERGÉTICA TÉRMICA en la industria” (Tomo I y II), Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Bilbao, España, 1984.
- Ministerio de Economía y Planificación, “Guía para el análisis y Evaluaciones de Calderas y Redes de Distribución de vapor”, España, 2000.
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-ener-1995, Eficiencia térmica de calderas paquete.
- Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-012-ENER-1996, Eficiencia térmica de calderas de baja capacidad.
- PLAUCHÚ Lima, Alberto, “EFICIENCIA EN CALDERAS”, México, D.F.
- SELMEC, Equipos Industriales, S.A. de C.V., “Manual Selmec de Calderas Cleaver Brooks”, Sociedad Electro Mecánica, S.A. de C.V., México, 1976.
- Spirax Sarco, “Guía de referencia técnica Calderas y accesorios”, Estados Unidos, 2002.
- Spirax Sarco, “Guía de referencia técnica, Distribución de Vapor”, Estados Unidos, 2002.
- Spirax Sarco, “Guía de referencia técnica, Purga de Vapor y Eliminación de Aire”, Estados Unidos, 2002.
- THUMANN, Albert / MEHTA, D. Paul, “HANDBOOK OF ENERGY ENGINEERING” Second Edition, The Fairmont Press Inc., U.S.A., 1991.
- WEIHMANN, Gerardo, “PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL VAPOR DE AGUA”.

