

GUÍA DE VAPOR PARA LA INDUSTRIA

OCTUBRE DE 2002

Debido a la importancia que reviste la generación de vapor para los procesos industriales, la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae) pone al alcance de los empresarios y técnicos del sector industrial, esta Guía Práctica para el Ahorro de Energía en la Generación y Distribución de Vapor, la cual ha sido elaborada a partir del "Energy Efficiency Handbook", del Council of Industrial Boiler Owners (CIBO), de información obtenida del Department of Energy de los E.E.U.U. (DOE), del American Boiler Manufacturers Association (ABMA) y de la propia experiencia de Conae. Esperamos que sea de utilidad para utilizar en forma eficiente la energía, lo cual hará reducir sus consumos y, por ende, aumentar la competitividad de sus negocios.

CONTENIDO

	Página
I. Introducción	1
II. Descripción de un sistema de Generación de Vapor	2
III. Recomendaciones generales	3
IV. Sistema de alimentación y tratamiento de agua para la caldera	3
V. Quemadores y hogar de la caldera	5
VI. Sistema de distribución de vapor y retorno de condensado	11

I. INTRODUCCIÓN

El vapor de agua es un servicio muy común en la industria, que se utiliza para proporcionar energía térmica a los procesos de transformación de materiales a productos, por lo que la eficiencia del sistema para generarlo, la distribución adecuada y el control de su consumo, tendrán un gran impacto en la eficiencia total de la planta. Esta situación se refleja en los costos de producción del vapor y, en consecuencia, en la competitividad y sustentabilidad de la empresa.

En México, la tercera parte de la energía utilizada a nivel nacional, es consumida por la industria, y de ésta, cerca del 70% proviene de combustibles fósiles, distribuidos en la forma siguiente: el gas natural como principal recurso (50%), seguido por el combustóleo (21%) y el coque (11%). Este requerimiento energético demandado por la industria lo conforman principalmente los sistemas de combustión directa, como son los calentadores a fuego directo y calderas, donde estas últimas se utilizan para la generación de vapor, el cual se requiere para suministrar trabajo mecánico y calor a los procesos.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

La figura muestra un sistema de generación y distribución de vapor, cuyas partes principales se describen a continuación.

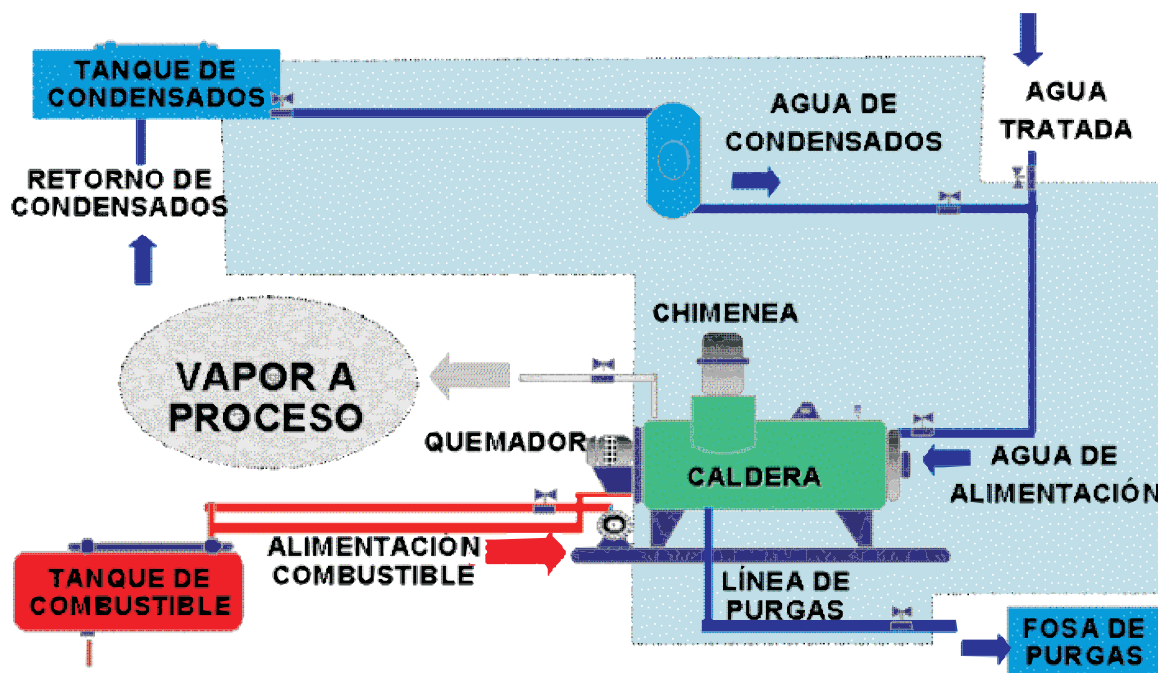


Figura 1. Sistema de generación y distribución de vapor.

Sistema de alimentación y tratamiento del agua para la caldera.

Conformado por equipo, tubería y accesorios que permiten el suministro del agua bajo condiciones adecuadas al sistema de vapor.

Quemadores.

Dispositivos de la caldera, donde se lleva a cabo la reacción química del aire con el combustible fósil, para transformarse en calor, mismo que posteriormente servirá para cambiar las propiedades del agua líquida a vapor.

Hogar de la caldera.

En el caso de las calderas tipo "tubos de agua", el hogar está formado por paredes hechas con "bancos de tubos"; en calderas tipo "tubos de humo", el hogar está formado por una envolvente metálica interna. En ambos casos, es en el hogar donde se inicia la transformación del agua en estado de saturación a vapor y donde

se termina de realizar el proceso de combustión iniciado en el quemador, liberando el calor del combustible.

Sistema de distribución del vapor.

Serie de tubos denominados "cabezales y ramales de vapor", que permite llevar el vapor a los puntos donde el proceso lo requiere, con la calidad y en la cantidad demandada.

Sistema de retorno de condensados.

Serie de tubos denominados "cabezales y ramales de condensado", que regresan parte del agua que se ha condensado en el proceso. Esta agua, de gran valor por su pureza, se retorna al sistema de generación de vapor con un previo tratamiento. Es muy recomendable la instalación de este sistema, ya que permite recuperar la mayor cantidad posible de condensados.

III. RECOMENDACIONES GENERALES

Considerando que, entre el 40 y 60% de toda la energía empleada por algunas industrias, es consumida para la generación de vapor, la operación eficiente del sistema y su mantenimiento adecuado pueden representar una gran oportunidad para disminuir sus insumos energéticos y, por ende, sus costos de operación.

Existen reglas que, en general, deben seguirse para generar vapor con eficiencia:

- a) Operar la caldera a condiciones normales o máximas (según la carga demandada por el proceso), las cuales alcancen la mayor eficiencia especificada. Los grados de sobrecalentamiento del vapor deberán ser
- b) Cuando se requiera utilizar vapor en turbinas, ya sea para la generación de energía eléctrica o para movimiento rotatorio, es necesario suministrarlo a su máxima potencia, tomando en cuenta algunos otros niveles que se necesiten en instalaciones de proceso; esto, con la finalidad de que se puedan realizar las extracciones correspondientes de la turbina. Dicha acción permitirá no utilizar válvulas reductoras de presión, lo que origina se eleve la eficiencia del ciclo.

IV. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN Y TRATAMIENTO DEL AGUA PARA LA CALDERA

Si bien el agua en forma de vapor es un vehículo para distribuir calor a diversos procesos, nunca se encuentra pura y los elementos que contiene pueden afectar las tuberías y limitar la transferencia de calor en los equipos de proceso. Para mantener la eficiencia de la caldera e incrementar su vida útil es necesario un acondicionamiento que consiste en reducir los depósitos de sólidos e incrustaciones en las superficies de calefacción, así como el evitar su corrosión.

Cada caldera y su agua de alimentación representan una condición única y específica, por lo que la información y recomendaciones que a continuación se listan, son de carácter genérico.

- a) **Operar adecuadamente el sistema de alimentación de agua.**

El agua alimentada en el sistema de vapor tiene que ser transportada, desde su punto de suministro o almacenamiento, hasta el interior de la caldera, pasando a través de los economizadores, mediante un sistema de bombeo.

Para una operación eficiente se recomienda:

- **Mantener en operación el mínimo número de bombas, según se requiera**
- **Mantener la operación de las bombas produciendo la presión de descarga de diseño**
- **Aprovechar el flujo por gravedad, siempre que sea posible**
- **Si los requerimientos de presión varían considerablemente por los cambios de estación en el año o en la producción, evaluar la posibilidad de cambiar los impulsores de las bombas**
- **Usar dispositivos para variar la velocidad en los motores de las bombas de agua de alimentación**

Por lo general, se utiliza un mínimo de dos bombas de alimentación, dependiendo del grado de confiabilidad para mantener la caldera trabajando en caso de falla del suministro de agua. El hecho de disponer de dos bombas permite realizar trabajos de reparación y

mantenimiento en una de ellas, mientras que la otra continúa suministrando el agua necesaria para la operación de la caldera.

Cuando se utilizan turbinas de vapor para suministrar el agua de alimentación, se recomienda regular al mínimo requerido la presión de su descarga.

b) Dar tratamiento al agua de alimentación y agua retornada (condensado).

Es recomendable dar diversos tratamientos al agua antes de introducirla al sistema de generación y distribución de vapor. Se citan los más importantes.

- **En el agua cruda, que forma parte de la alimentación a la caldera, deben eliminarse los sólidos en suspensión, reducir "la dureza" (provocada por las sales de calcio, magnesio y silicio) y eliminar otras impurezas solubles.**
- **Aplicar productos químicos, para eliminar el oxígeno disuelto en el agua y controlar su grado de acidez.**

Gran parte del oxígeno contenido en el agua alimentada a la caldera, es eliminado en el deaerador. Sin embargo, pequeñas cantidades -trazas de éste- aún se encontrarán en el agua, causando la corrosión en el metal de la caldera. Para prevenir esto, un secuestrante de oxígeno debe ser adicionado al agua, de preferencia en el tanque de almacenamiento del deaerador. Así, el secuestrante dispondrá de un tiempo mayor para reaccionar con el oxígeno residual.

Otra forma de reducir la corrosión en la caldera es controlando el "pH" (grado de acidez) en el agua, mediante la adición de químicos.

- **Purgar adecuadamente la caldera, para limitar la concentración de impurezas del agua en la caldera.**

Las purgas pueden ser localizadas en distintos puntos; éstas pueden ser desde abajo del nivel de agua en el tanque de vapor (o domo del vapor), desde el domo de lodos

o cabezal inferior, o también desde el fondo de la caldera. Las purgas pueden ser continuas o intermitentes. A continuación, se establecen algunos principios para llevar a cabo un programa efectivo de purgas.

- ♦ En calderas tipo tubos de agua (acuotubulares), la concentración de impurezas debe controlarse purgado desde el domo de vapor. Es preferible realizar purgas continuas.

También para este tipo de calderas, el purgar desde el domo de lodos o del cabezal inferior elimina los sólidos en suspensión del agua en la caldera. El tratar de controlar la concentración de impurezas purgando en este lugar, puede causar fallas severas en la circulación dentro de la caldera, lo cual causa serios daños. La purga en el fondo debe ser de poca duración, sobre una cantidad ya establecida. Esta cantidad es determinada por el diseño de la caldera, las condiciones de operación y la velocidad de acumulación de sólidos suspendidos.

- ♦ La purga en calderas del tipo tubos de humo (pirotubulares), puede hacerse de manera continua o intermitente, como también realizarse abajo del nivel de agua o desde el fondo. El tipo de purga, su frecuencia y duración dependen del diseño de la caldera, las condiciones de operación y el tipo de programa de tratamiento de agua.

- **Dar tratamiento a los condensados que retornan.**

Tome en cuenta algunas recomendaciones:

- ♦ Adicione productos químicos para controlar el grado de acidez.
- ♦ Elimine el oxígeno de los condensados a través de un deaerador, antes de que vuelvan a entrar junto con el agua de reposición, al sistema de agua de alimentación.

- ♦ Reduzca el venteo en el deaerador a menos del 0,1% del flujo de agua o menos del 0,5% del flujo de vapor (esta recomendación dependerá del tamaño del sistema de vapor y condensado, así

como de la capacidad demandada por el proceso).

- ♦ Retorne todos los condensados posibles al sistema de agua de alimentación.

V. QUEMADORES Y HOGAR DE LA CALDERA

La eficiencia energética de una caldera puede definirse como el porcentaje de la energía del combustible (carbón, gas y petróleo) que se convierte en energía calorífica para generar el vapor. El método de pérdidas de calor es el más utilizado para determinar la eficiencia de una caldera. Para calcular ésta, simplemente se determinan las pérdidas individuales de calor, expresándolas como un porcentaje del calor suministrado, y se restan del 100%, considerando el principio de que la energía no se pierde.

La mayoría de las calderas son diseñadas para tener eficiencias cercanas a 80%, según lo establece la norma correspondiente; sin embargo, se encuentran trabajando entre el 65 y el 85%, mientras que la parte restante, es decir, el 35% y el 15%, respectivamente, son pérdidas. Este porcentaje de pérdida puede incrementarse cuando la operación de una caldera no es la adecuada.

Las acciones que aumentan la eficiencia de los sistemas contribuyen sensiblemente a la reducción de esta pérdida, sobre todo en la energía desechada en los gases de combustión. Por lo mismo, una de estas acciones puede ser la utilización de sistemas de recuperación de calor.

Por otro lado, también se deben evitar los excesivos consumos de energéticos, que son ocasionados por: un mal funcionamiento de la caldera, los desperdicios de vapor dentro del sistema de distribución hacia el proceso y un mal aprovechamiento de la energía por su inadecuado uso.

Para lograr una operación óptima en la caldera y un uso eficiente de su energía, se recomienda de manera general:

- Asegurar una adecuada combustión
- Eliminar las pérdidas de calor
- Considerar la posibilidad de recuperar calor

- Mejorar el control de las calderas y
- Operar adecuadamente el manejo de aire a la caldera

Enseguida, se describe cada una de estas recomendaciones.

a) **Asegurar una adecuada combustión**

La combustión es el proceso que permite convertir la energía química contenida en los combustibles en energía calorífica, la cual se transmite al agua para generar vapor. La combustión ocurre por una combinación del oxígeno contenido en el aire, con el carbono e hidrógeno de los combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

El eficiente quemado de los combustibles y el mayor aprovechamiento del calor generado por este proceso, requieren que se preste atención a todos los equipos y dispositivos que conforman el sistema de combustión.

Para que este proceso logre lo anteriormente expuesto, se recomienda operar y mantener adecuadamente el sistema de alimentación de combustible, sea éste gas y/o líquido.

En todos los componentes de los sistemas de combustión, la operación y el mantenimiento adecuado de cada uno de ellos son esenciales para lograr un proceso de combustión eficiente y seguro, por lo que se recomienda tener las siguientes precauciones:

Alimentación de combustible gas

- **Mantener, en el nivel adecuado, la presión de suministro al quemador.**

Este es un factor crítico para obtener la

operación adecuada del quemador y una combustión eficiente. Las variaciones de presión pueden causar una combustión rica en combustible y altas emisiones de monóxido de carbono (CO).

- **Las variaciones de presión del gas tienen su origen en la presión del suministro general, es decir, de la válvula de control de presión de la caldera, pero también pueden deberse a defectos o suciedad en el regulador de presión del gas a la entrada de los quemadores.**
- **Verificar la operación correcta de la válvula que modula el gas, para asegurar que responda a las señales provenientes de los controles.**
- **Comprobar que la presión del gas en la boquilla (tobera) sea la correcta; esto se verifica a través de la medición de presión en los manómetros indicadores locales.**

Alimentación de combustible líquido

- **Mantener la temperatura adecuada del combustible.**

En las calderas que queman combustóleo pesado, es necesario vigilar la variación de la forma de la flama y mantener la temperatura adecuada del combustible. El cambio de temperatura es generalmente causado por el ensuciamiento del calentador del combustible o por falla o desajuste del control de temperatura. Consulte a los proveedores de estos equipos y siga sus recomendaciones.

- **Verificar la fluidez del sistema de recirculación de combustible.**

Cualquier descenso de la temperatura ambiente y/o del combustible requerirá la inspección del sistema.

Las bombas de combustible y las válvulas de control de presión necesitan ser inspeccio-

nadas para suministrar el combustible en las boquillas del quemador con la presión adecuada. Se tendrá que verificar la presión del suministro de combustible, cuando menos, una vez al día.

- **Mantener, en el nivel adecuado, la presión de suministro del combustible.**

El cambio de presión afecta directamente la capacidad de atomización del combustible, limitando su completa combustión. Las consecuencias que acarrea este cambio de presión son, entre otras, el consumo excesivo de combustible y gases de combustión con inquemados, lo que origina la formación del hollín, reduce la eficiencia y aumenta los costos de operación en la caldera. La variación de presión del combustible puede ser causada por: el desgaste de la bomba, válvula de relevo defectuosa, filtros obstruidos o fuga en el equipo mecánico, cambios en el punto de ajuste de la válvula de control de presión.

- **Los combustibles líquidos necesitan un medio de atomización, que puede ser aire o vapor, según su disponibilidad.**

Los cambios de presión en estos medios pueden también formar el hollín. La pérdida de presión puede deberse a problemas en el regulador de presión, en el compresor de aire o a una boquilla sucia del combustible.

Suministro del aire adecuado para la combustión

El exceso de aire se define como la cantidad de éste que es suministrada al quemador, más allá de la requerida teóricamente (por estequiometría), para asegurar una combustión completa. Las infiltraciones de aire dentro de la cámara de combustión traen como consecuencia, el tener un aire adicional que interferirá con la eficiencia del proceso de combustión.

- **Evitar el exceso de aire.**

Un nivel excesivo de aire significa pérdidas

adicionales de energía, aumento de la temperatura de los gases de chimenea y reducción de la eficiencia de la caldera. La Tabla 1 contiene las recomendaciones para ajustar los niveles de exceso de aire, según los diferentes tipos de combustibles líquido o gas.

Tabla 1. Exceso de Aire Recomendado	
Combustible	Exceso de Aire Recomendado (%)
Gas natural	5 - 10
Propano	5 - 10
Gas de coque	5 - 10
Combustóleo (FuelOil 6)	10 - 15

■ **Ajustes de exceso de aire en la especificación de quemadores, de acuerdo con la temperatura del aire de combustión.**

Este es un problema muy común en la "especificación de quemadores", cuando se adquieren unidades nuevas. En innumerables pruebas e investigaciones, se ha comprobado que los niveles excesivos de aire provocan incrementos considerables en el suministro de energía a la caldera y la temperatura de los gases que salen de la chimenea, así como la reducción significativa de la eficiencia de la caldera. En el caso contrario, un bajo nivel del exceso de aire provoca que la combustión sea incompleta y se produzca hollín e inquemados.

Esta situación ha conducido a que en los diseños de nuevos quemadores se manejen niveles máximos del 15% de exceso de aire; éstos varían de acuerdo con el diseño de la caldera y tipo de combustible utilizado (líquido o gas). No obstante, debido a que en las diferentes estaciones del año no hay un nivel fijo de temperatura del aire, es conveniente tomar en consideración los perfiles de las mismas a lo largo de uno o varios años; esto, con la finalidad de tomar en cuenta dichas variaciones para los requerimientos de combustión en la "especificación del

quemador". En la tabla No. 2, se muestra el efecto de los cambios de temperatura del aire para combustión sobre los niveles de exceso de aire.

Tabla 2. Temperatura del aire para combustión y su efecto en el exceso de aire		
Temperatura del aire para combustión		Exceso de aire resultante %
°C	(F)	
4,5	(40)	25,5
10,0	(50)	20,2
26,7	(80)	15,0 Ajuste inicial
37,8	(100)	9,6
48,8	(120)	1,1

Fuente CIBO, Energy efficiency Handbook

Por otro lado, el cambio de punto de ajuste se ve también modificado por los quemadores que están fuera de operación, así como por ajustes de operación en la caldera y por el entrapamiento de aire.

■ **Evitar infiltración de aire.**

En los trabajos de mantenimiento, es recomendable una revisión para determinar si existe infiltración de aire. Una forma simple para determinar si ésta existe, es encendiendo el sistema de tiro inducido (si es que existe en la instalación de referencia) y recorriendo con una flama (cerillo de madera, encendedor, etc.) las zonas donde se tenga sospecha de que se está infiltrando aire; la flama se agitará o apagará en los puntos donde exista infiltración; el sellado del hogar en estos sitios permitirá una operación con mejores eficiencias.

■ **Verificar la operación de la compuerta de aire, para asegurar que responda correctamente a las señales provenientes de los controles.**

■ **Ajustar la relación de aire/combustible para la operación más eficiente, conforme a la carga de operación en la caldera.**

Asegurar la operación adecuada de los quemadores

■ **Mantener limpias las boquillas de los quemadores.**

La limpieza de éstas es esencial para obtener una forma adecuada de la flama. La acumulación de hollín ocurre muy frecuentemente cuando se queman combustibles líquidos. El deterioro de la forma de la flama puede ser indicador de que las boquillas están sucias y deben ser limpiadas.

■ **Ajustar, mediante un quemador tipo modulante, las condiciones de demanda en calderas con un solo quemador.**

■ **Ajustar los quemadores en operación de acuerdo con las variaciones de carga.**

En las calderas con múltiples quemadores, cuando las condiciones de carga no requieren el uso de todos o si se encuentran todos en uso, deberán ser ajustados los patrones de cada quemador (flama, altura, etc.), para dar su máxima eficiencia.

■ **Revisar periódicamente las condiciones de operación de los quemadores.**

En la revisión de la configuración del patrón de la flama, como su color e, incluso, el sonido producido por los quemadores, son indicadores de cambios en la operación. Como recomendación, marque y asegure mecánicamente las posiciones más adecuadas de los mecanismos para poder verificar periódicamente su posición, ajuste y funcionamiento. Los cambios en el ajuste del mecanismo aire/combustible varían la relación de éstos, afectan el nivel de exceso de aire y, como consecuencia, la eficiencia de la caldera.

■ **Revisar que no exista infiltración de aire en los ductos de gases de combustión.**

■ **Controlar los quemadores de acuerdo con las especificaciones del fabricante.**

El sistema de control de quemadores se mantendrá de tal forma que se asegure la máxima eficiencia, de acuerdo con las especificaciones del fabricante

■ **Ajustar los dispositivos de detección de flama.**

Los dispositivos de detección de flama se deben ajustar para permitir una operación segura con mínimos excesos de aire (para casos de operación crítica).

■ **Cuidar la posición de las compuertas de regulación.**

Los quemadores diseñados para operar con bajo nivel de NO_x deben mantener en buenas condiciones sus compuertas para la regulación de la combustión en etapas o la recirculación de gases de combustión, es decir, tienen que estar libres de obstrucción y ajustadas para responder a las señales de control. Todos los controles restantes del quemador y de No_x deben ajustarse para obtener el mayor control de los No_x, así como una mínima emisión de CO₂ y de compuestos orgánicos, a la máxima eficiencia.

b) **Eliminar las pérdidas de calor.**

Las mayores pérdidas de energía en una caldera convencional se producen a través de los gases que salen de la chimenea, por radiación o por purgas de vapor; es importante evitar estas pérdidas, ya que en el peor de los casos, pueden representar hasta un 30% del combustible suministrado. La cantidad de calor perdido depende de la temperatura y del volumen de gas que sale de la caldera. Por lo tanto, al reducir cualquiera de estos parámetros disminuirá la cantidad de calor perdido.

Las siguientes son algunas medidas prácticas que pueden ayudar a minimizar las pérdidas a

través de los gases de chimenea:

- **Ajustar el "tiro" en el piso de la caldera**
- **Ajustar el exceso de aire al nivel recomendado por el fabricante del quemador**
- **Mantener limpias las superficies de intercambio de calor**
- **Recuperar el calor de los gases de chimenea (donde se justifique)**
- **Controlar la infiltración de aire**

Así mismo, es necesario evitar las pérdidas por radiación, así como las purgas innecesarias. Estas son algunas recomendaciones al respecto:

■ **Evitar pérdidas por radiación.**

Es inevitable que una parte del calor de la combustión escape a través de las paredes del hogar (o de la caldera) sin que sea absorbido por el agua. Sin embargo, estas pérdidas de calor por radiación pueden ser controladas, por lo que se recomienda: aislar adecuadamente las paredes del hogar y de la caldera en general, dar un adecuado mantenimiento a las capas del aislamiento y mantener en buen estado el refractario. Una caldera aislada adecuadamente tendrá, a plena carga, pérdidas de calor que no superan el 3% (Tabla 3). Entre mayor sea la capacidad de la caldera, menor deberá ser el porcentaje de pérdidas por radiación. Use estos valores sólo como referencia.

Tabla 3. Pérdidas por radiación en calderas

Tamaño de la caldera	Pérdidas por radiación
900 000 kg vapor/hora	0,5%
45 500 kg vapor/hora	0,7%
23 000 kg vapor/hora	0,9%
9 000 kg vapor/hora	1,0%
Menores a 9 000 kg vapor/hora	1,1 a 3,0%

■ **Evitar purgas innecesarias.**

La purga (extracción de agua) en la caldera, es necesaria para eliminar los sólidos disueltos en el líquido, pero debido a que éste ya absorbió calor, una purga excesiva dará como resultado una pérdida del mismo.

c) **Considerar la posibilidad de recuperar calor.**

Los equipos de recuperación, que incluyen varios tipos de intercambiadores de calor, son localizados en lugares donde pueden absorberlo de los gases de combustión, después de que éstos han pasado por las secciones de generación y de sobrecalentamiento de vapor en la caldera.

Para estos equipos se recomienda:

■ **Instalar economizadores.**

Los economizadores ayudan a incrementar la eficiencia de la caldera al extraer el calor de los gases de combustión. El calor es transferido al agua de alimentación. Si éstos ya están instalados, se deben mantener limpias sus superficies de intercambio térmico, para asegurar un grado adecuado de transferencia de calor.

■ **Instalar precalentadores de aire.**

Los precalentadores de aire, por un lado, enfrían los gases de combustión antes de que salgan a la atmósfera y, por el otro, elevan la temperatura del aire que entra a la caldera para la combustión; de esta forma, aumentan la eficiencia en el quemado del combustible. La corrosión es el principal problema que se presenta al mantener operando eficientemente los precalentadores de aire. El contenido de azufre en algunos combustibles, la humedad en los gases de combustión y el tipo de quemado tienen una gran influencia para que se presente la corrosión.

■ **Instalar equipos de soplado o lavado.**

Algunos precalentadores de aire están provistos con su propio equipo de soplado.

Estos equipos utilizan vapor sobrecalentado o aire comprimido seco como el medio de limpieza. Es preferible el uso de aire comprimido en vez del vapor, debido a la ausencia de humedad; sin embargo, se debe asegurar que haya trampas instaladas y separadores para eliminar la humedad del aire.

Revisar periódicamente los economizadores (calentadores de agua de alimentación) y precalentadores de aire, para asegurar una buena transferencia de calor.

d) **Mejorar el control de las calderas.**

- Desde hace 50 años, se han estado dando cambios importantes en la tecnología para el control de las calderas de vapor, lo cual ha mejorado significativamente su operación y

eficiencia (Tabla 4). Por lo anterior, se recomienda sustituir los sistemas de control analógicos y neumáticos por sistemas digitales de control distribuido (DCS). Este cambio tecnológico permite aumentar la vida útil de las calderas y su confiabilidad; esto, debido básicamente a que los controles en la actualidad son monitoreados con modernas rutinas de cómputo, mismas que realizan los ajustes en tiempo real.

Tabla 4. Comparación entre controles analógicos y computarizados

Control centralizado neumático/analógico	Control computarizado
Distribuido (DCS)	Requiere calibración constante
Se dan comandos a través de un programa y se queda fija la calibración	Los cambios requieren alambrado
Los cambios se hacen en el programa	Difícil de expandir más allá de la configuración inicial
Se puede incrementar fácilmente por expansión	Se dificulta la localización de fallas y su reparación
Autodiagnosticable	Instalado en línea
Módulos desmontables	Adquisición de datos por separado
Adquisición de datos integrada	Vulnerable
Tolerancia a las fallas mediante la división de funciones y/o redundancia	

De esta forma, las fallas pueden ser aisladas fácilmente y en la mayoría de las veces la corrección es automática. Podría decirse que los sistemas de control de este tipo se inspeccionan a sí mismos.

e) **Operar adecuadamente el manejo de aire a la caldera.**

- **Instalar ventiladores de aspas curvas hacia atrás.**

Existen tres tipos de ventiladores de tiro inducido, más comúnmente usados en las instalaciones generadoras de vapor, que son: aspas curvas hacia atrás, aspas rectas y tipo radial.

Las más eficientes son las primeras, las cuales ofrecen un 90% de eficiencia; otras ventajas de este tipo de ventilador son su

operación muy estable y silenciosa, además de la posibilidad de trabajar a alta velocidad.

Es conveniente aclarar, que esta recomendación es para equipos nuevos, para aquellos en operación actual, se recomienda una revisión del sistema: accionador, cople y ventilador, esto con la finalidad de emitir una recomendación acorde al desempeño energético, así como determinar su viabilidad.

- **Revisar y limpiar periódicamente los ventiladores y sus carcasas, para evitar la acumulación de polvo y suciedad.**

El polvo y la suciedad reducen la eficiencia del ventilador, cambian lentamente la configuración de las aspas y añaden peso. Esta inspección debe efectuarse, cuando

menos, dos veces al año o frecuentemente si los ventiladores están localizados en lugares donde haya altas concentraciones de polvo en el aire, cerca de bandas transportadoras, pulverizadores, etc. Aplique las siguientes medidas:

- ♦ **Mantenga las bandas tensas y las poleas alineadas**

- ♦ **Lubrique periódicamente los baleros; cámbielos cuando estén desgastados**
- ♦ **Utilice accionadores que dispongan de dispositivos para el control de velocidad**
- ♦ **Instale ductos que reduzcan la caída de presión**
- ♦ **Reduzca las fugas en los ductos**

VI. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO

El sistema de distribución de vapor permite llevar el vapor en la cantidad y calidad requerida por el proceso. En este sistema, es importante:

- a) Contar con buenos procedimientos de operación
- b) Operar adecuadamente las trampas de vapor
- c) Mantener aisladas las tuberías, equipos y dispositivos
- d) Evitar las fugas de vapor
- e) Mantener una presión de vapor adecuada

A continuación se describe cada una de ellas:

- a) **Procedimientos de operación generales.**

- **Emplear analizadores de proceso y tecnologías de control avanzado.**
- **Utilizar adecuadamente los sistemas de vacío.**
- **Considerar la viabilidad de sustituir los eyectores de vapor (para producir vacío), por bombas de vacío mecánicas.**
- **Operar con el menor número de eyectores de vapor.**

Los sistemas de vacío, cuando no se utilizan adecuadamente, incrementan significativamente el consumo de vapor.

- **Reparar cualquier fuga que se presente.**

- **Clasificar cada generador de vapor de acuerdo con sus características de desempeño y eficiencia.**

De esta forma, durante los periodos de demanda "pico" de vapor, los generadores más eficientes son los que trabajarán a plena o mínima carga, lo cual mantendrá un consumo de energía al mínimo.

- **Revisar periódicamente los sistemas de vapor para detectar líneas de vapor usadas con muy poca frecuencia y que puedan ser eliminadas o sacadas de servicio.**

- **Mantener los sistemas de trazado con el mínimo flujo requerido, ya que pueden ocasionar desperdicios de vapor.**

Analizar la posibilidad de usar cintas de calefacción eléctricas en lugares remotos.

- **Incluir en el diseño de este sistema, equipos de medición de flujo de vapor.**

- b) **Operar adecuadamente las trampas de vapor.**

La función de las trampas de vapor es la de permitir automáticamente el drenado de

condensado que se forma en el sistema, sin dejar escapar el vapor, además de permitir la eliminación de aire y gases incondensables.

Para asegurar un funcionamiento adecuado, sin pérdidas de energía, se recomienda:

- **Elaborar para cada área operativa, un programa de revisión rutinaria de las trampas de vapor para verificar su operación adecuada.**

La frecuencia de revisión dependerá de las condiciones particulares de cada área; sin embargo, debe revisarse, como mínimo, mensualmente.

- **Mantener un censo actualizado de las trampas de vapor.**

Numere todas las trampas y registre su localización en un croquis para facilitar su revisión y registro.

- **Capacitar al personal operativo y de mantenimiento sobre las técnicas de pruebas de operación de trampas.**

Donde se necesite utilizar equipo ultrasónico, designe personal especializado.

- **Asignar máxima prioridad a la reparación y mantenimiento de trampas.**

El aplicar un procedimiento de mantenimiento periódico puede reducir las fallas en trampas hasta un 3 ó 5%. Una trampa que

no cierra puede representar pérdidas de vapor entre 22 y 45 kg vapor/hr., (50-100 lb vapor/hr). Por ello, establezca un programa de mantenimiento y tome en cuenta que el número de trampas defectuosas debe ser menor del 5% del total.

- **Seleccionar las trampas de vapor de acuerdo a su aplicación y descarga esperada de condensado.**

- c) **Mantener aisladas las tuberías, equipos y dispositivos.**

El aislamiento en tuberías, equipos y accesorios del sistema de distribución de vapor y retorno de condensado, evitará pérdidas de calor hacia el ambiente. Es muy importante instalar, en cada tramo de tubería, el espesor óptimo de aislamiento. En la tabla No. 5 se indica el efecto que produce un inadecuado aislamiento.

- **Inspeccionar periódicamente el aislamiento para reemplazar o reparar los tramos dañados o deteriorados.**

Esto es especialmente necesario después de que se han tenido que retirar tramos de aislamiento para reparar fugas de vapor. En general, al menos una vez por año, debe realizarse esta inspección de las líneas de vapor. Durante una inspección de rutina, debe identificarse el daño físico, grietas; bandas y cintas de sujeción rotas; juntas rotas o dañadas; y/o cubiertas dañadas.

Tabla 5. Pérdidas de calor por cada 10m de tubería de vapor sin aislamiento

Diámetro nominal (mm)	Pérdida de calor en M Btu / año			
	Presión del vapor			
	1,05 kg cm ²	10,56 kg cm ²	12,12 kg cm ²	42,25 kg cm ²
25,4	45,93	93,50	123,03	162,40
50,8	77,09	157,48	206,69	275,59
101,6	136,15	278,87	367,45	492,12
203,2	232,78	505,25	666,01	894,02
304,8	346,13	721,78	954,72	1286,08

Tubo de acero en posición horizontal, temperatura ambiente 24°C, sin velocidad en el aire y una operación de 8760 horas/año.

Fuente: DOE.- Energy Tips

■ **Un instrumento muy útil para verificar el estado del aislamiento es el termógrafo.**

Este instrumento indica la temperatura superficial con imágenes compuestas de varios colores; es ideal para revisar áreas extensas. Los pirómetros de contacto y pistolas caloríficas deben estar en contacto directo con la superficie, para medir su calor.

■ **Revisar el aislamiento después de cualquier mantenimiento.**

Las áreas donde se han efectuado otros trabajos de mantenimiento, tienen que revisarse para identificar dónde debe repararse el aislamiento. Las colchas aislantes desmontables volverán a colocarse sobre sus equipos. Como regla, los últimos trabajos de mantenimiento serán: la reparación, reemplazo o reinstalación de los aislamientos.

■ **Bloquear las líneas de vapor que no estén en operación.**

Evitar las fugas de vapor.

Las fugas de vapor son una forma visible de desperdicio de energía y, por lo mismo, también indican una indiferencia por la operación eficiente del sistema. Existen dos métodos para estimar las pérdidas de vapor por fugas: En función del tamaño del orificio (Tabla 6) y en función de la presión de operación vs altura de pluma (Tabla 7).

d) **Evitar las fugas de calor.**

Para evitar pérdidas de energía por fugas de vapor, se recomienda:

■ **Todas las fugas de vapor deben repararse tan pronto como sea posible.**

■ **En los procedimientos de mantenimiento, especifique las juntas y empaques para las bridas de las válvulas.**

■ **Recurra a un especialista en reparación de fugas, si el sistema de vapor no puede ser sacado de operación.**

■ **En el diseño del sistema de vapor, se debe evitar el uso de conexiones roscadas.**

Se recomienda consultar el código ANSI para el uso de conexiones para diferentes presiones de vapor

e) **Mantener una presión de vapor adecuada.**

■ **Usar vapor a la mínima presión posible, para servicios de calentamiento.**

Esto reducirá el consumo de energía. Los cambios en el proceso o en los equipos, frecuentemente permiten el uso de una menor presión del vapor.

Tabla 6. Pérdidas de vapor (Método del tamaño del orificio)

Presión de vapor		Tamaño del orificio		Pérdida de vapor	
kg/cm ²	(psi)	mm	(plg)	kg/hr	lb/hr
8,1	(115)	1,58	(1/16")	6,82	(15)
8,1	(115)	3,17	(1/8")	27,3	(60)
8,1	(115)	6,35	(1/4")	109,1	(240)
8,1	(115)	12,7	(1/2")	459,1	(1 010)
8,1	(115)	25,4	(1")	1772,7	(3 900)
29,2	(415)	1,58	(1/16")	659,1	(1 450)
29,2	(415)	3,17	(1/8")	2636,4	(5 800)
29,2	(415)	6,35	(1/4")	10 545,4	(23 200)
29,2	(415)	12,7	(1/2")	42 181,8	(92 800)
29,2	(415)	25,4	(1")	169 090,9	(372 000)

Estas consideraciones tendrán que tomarse en cuenta en la fase de diseño; cualquier cambio posterior, en proceso o equipo que se recomiende, debe de ser analizado desde el punto de vista económico para justificarlo.

■ **Aprovechar el vapor a todos los niveles de presión posible.**

En el vapor de alta presión no deben utilizarse válvulas reductoras de presión, y el vapor de baja presión no es conveniente que sea venteado a la atmósfera.

Existen grandes ahorros cuando se eliminan los venteos y reducciones de presión. La instrumentación tendrá que considerar, desde su diseño, el monitoreo constante de la presión y los venteos de vapor.

En resumen, el sistema de vapor tiene que balancearse adecuadamente.

La tabla 7 muestra el valor de las pérdidas de vapor, en kilogramos de vapor ó libras de vapor por hora, para un largo de pluma y una temperatura ambiente determinada.

Tabla 7. Pérdidas de vapor (Método por altura de pluma)							
		Pérdida de vapor kg/hr (lb/hr)					
Altura de la pluma		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)	227,27	(500)	363,63	(800)
3,66	12 ft	100,00	(220)	395,45	(870)	636,36	(1 400)

FUENTE :

"Metodología para Evaluar Sistemas de Generación y Distribución de Vapor". Conae 2000, 1ª. Edición, México.

"Diagnósticos Energéticos del Sistema de Generación y Distribución de Vapor de Corporativos y Pequeñas Empresas, 1999. Conae, México.

ASME Power Test Codes, Código PTC 4.1 para pruebas de potencia en unidades de generación de vapor, 1964.

Plauchu Lima, Alberto, "Eficiencia en Calderas", 1a. Edición, México, D. F.

CIBO. Council of Industrial Boiler Owners, Energy Efficiency Handbook.- 1997, USA

Department of Energy (DOE) de los E.E.U.U. American Boiler Manufacturers Association (ABMA).

American National Standards Institute (ANSI) Secc. B 31 (Última edición)

Lo invitamos a consultar el Sitio en Internet de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae), para ampliar la información:

<http://www.conae.gob.mx>