Consejos para ahorrar energía en sistemas de vapor

Octubre 2009 V. 1.1

"2009, Año de la Reforma Liberal"
www.conuee.gob.mx

Contenido

Precaliente el aire para combustión	3
Minimice la purga de la caldera	4
Mejore la eficiencia de la combustión	6
Instale economizadores	7
Costo de Referencia del vapor	8
Mantenga libre de incrustaciones el lado del agua de las superficies de calefacción.	9
Aísle las líneas de distribución de vapor y las de retorno de condensado	10
Suministro del aire adecuado para la combustión	11
Trampas de vapor	13
Elimine las pérdidas de calor	14

Precaliente el aire para combustión

Una de las mejores formas de aumentar la eficiencia y productividad en los procesos de calentamiento industrial es el precalentar el aire para combustión que entra a los quemadores. La fuente de esta energía en forma de calor es la corriente de gases de escape que salen del proceso a una temperatura elevada.

Un intercambiador de calor, instalado en la chimenea o el sistema de ductos de salida de gases, puede extraer una buena cantidad de la energía térmica de éstos y transferirla al aire que entra a la combustión. Mediante el reciclaje del calor en esta forma, se reduce la cantidad de combustible necesario para el horno o caldera, con el consiguiente ahorro en su compra.

En varios procesos se producen gases corrosivos o muy sucios que atacan o tapan los intercambiadores. Algunos de éstos son más resistentes que otros a la acción de los agentes, por lo que, si su proceso es corrosivo o sucio, investigue varias opciones antes de optar por su compra. Cuando discuta esto con los posibles proveedores, asegúrese de tener disponible un análisis detallado de los materiales que se encuentran en la corriente de los gases de escape y que generan esta clase de problemas.

Los ahorros en combustible para diferentes temperaturas de proceso se encuentran en la siguiente tabla y pueden ser utilizados para estimar los ahorros en el costo de la energía.

PORCIENTO DE AHORRO DE COMBUSTIBLE OBTENIDO USANDO AIRE DE COMBUSTIÓN PRECALENTADO*

Temperatura de gases de escape °C	Temperatura de aire para combustión °C					
	316	427	538	649	760	871
538	13	18	-	-	-	-
649	14	19	23	-	-	-
760	15	20	24	28	-	-
871	17	22	26	30	34	-
982	18	24	28	33	37	40
1093	20	26	31	35	39	43
1204	23	29	34	39	43	47
1316	26	32	38	43	47	51

***Combustible: gas natural con 10% de exceso de aire.**

Existen dos tipos de precalentadores de aire: **de recuperación y regenerativos**. Los primeros son cambiadores de calor gas – gas que se instalan en las chimeneas; cuentan con tubos o placas internas que transfieren el calor de los gases de salida al aire que entra para la combustión, sin que se mezclen las dos corrientes de gases. Están disponibles en una gran variedad de estilos, capacidades de flujo y rangos de temperatura. Por su parte, los regenerativos están formados por dos o más secciones separadas de almacenamiento de calor. Los gases calientes y el aire para combustión se alternan para pasar a través de cada sección. Los gases de combustión calientan el elemento de almacenaje de calor y, posteriormente, el aire para combustión pasa a través de éste y lo enfría, recuperando así el calor, mientras que el otro elemento se recarga.

Ejemplo

Un horno trabaja a 870°C, 8 000 horas al año, consume un promedio de 10 551 M Joules por hora y utiliza aire a temperatura ambiente para la combustión.

¿Cuál será el ahorro anual si se precalienta el aire para la combustión a 427°C y si el costo del combustible (gas natural) es de 0.036 $ por M Joule?

Con un costo de 0.036 $/MJ, el costo anual de energía es:

Costo anual = 10 551 x 8 000 x 0.036 = $ 3 038 688 al año

Según la tabla, si se usara aire precalentado a 427°C, se obtendría un ahorro equivalente al 22% en combustible, es decir:

3 038 688 x 0.22 = $ 668 511 anuales.

Minimice la purga de la caldera

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

Cuando el agua se evapora en el tambor de vapor de la caldera, se separan los sólidos presentes en el agua de alimentación. Los sólidos en suspensión forman lodos o sedimentos en la caldera, que degradan la transferencia de calor, mientras que los sólidos disueltos provocan espuma y acarreo de agua con el vapor. Para reducir el nivel total de sólidos disueltos y suspendidos (TDS) y llevarlos a límites aceptables, periódicamente se tiene que descargar o purgar agua de la caldera. El purgado desde el fondo (o de lodos) es un procedimiento manual que normalmente se realiza en intervalos de varias horas y que dura unos cuantos segundos. El propósito es eliminar los sólidos suspendidos que se sedimentan y 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.

Un purgado insuficiente puede provocar arrastres de agua en la corriente de vapor, como también la formación de depósitos. El purgado en exceso provoca desperdicio de energía, agua y productos químicos. La cantidad correcta de purga es determinada por varios factores, incluyendo el tipo de la caldera, presión de operación, tratamiento de agua y la calidad del agua de repuesto.

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.

Ejemplo:

En una caldera que opera continuamente a 10 kg/cm^2 quemando gas natural y produciendo 45 500 kg de vapor por hora, se instala un sistema de purga automático que reduce la cantidad de purga del 8% al 6%.

Calcule los ahorros anuales si la temperatura del agua de repuesto es de 16°C, la eficiencia de la caldera 82%, el costo del combustible $ 0.032 MJ y el costo total del agua, incluyendo descarga y tratamiento, es de 0.012 $/lt.

Ahorros en agua de repuesto:

$$\text{Inicial} = \frac{45\,500\frac{\text{kg}}{\text{h}}}{(1-0.08)} = 49\,456.52\frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Final} = \frac{45\,500\frac{\text{kg}}{\text{h}}}{(1-0.06)} = 48\,404.25\frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Ahorro en agua} = 1052.27\frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Entalpía del agua en caldera = $0.75823\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$

Entalpía del agua de repuesto = $0.06699\ \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$

Diferencia de entalpías = $0.069124\ \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$

Ahorro anual en energía (AAE):

$$AAE = 1052.27 \frac{kg}{hr} \times 8\,760 \frac{hr}{año} \times 0.69124 \frac{MJ}{kg} \times 0.032 \frac{\$}{MJ} \times \frac{1}{0.82}$$

AAE= $248\,654 \frac{\$}{año}$

Ahorro en agua y productos químicos (AAPQ):

$$AAPQ = 1052.27 \frac{kg}{hr} \times 8760 \frac{hr}{año} \times 0.012 \frac{\$}{l} \times 1 \frac{l}{kg}$$

AAPQ = $110\ \ 614 \frac{\$}{año}$

Total de ahorro anual: $ 359 268

Mejore la eficiencia de combustión de su caldera

La operación de su caldera con el exceso de aire adecuado, minimizará las pérdidas de calor a través de la chimenea y mejorará la eficiencia de la combustión.

La eficiencia de combustión es una medida de la efectividad con que el contenido de calor del combustible se convierte en calor utilizable. La temperatura de la chimenea y la concentración de oxígeno o bióxido de carbono en los gases de combustión son los mejores indicadores de la eficiencia con que ésta se realiza.

Para una mezcla completa (oxígeno-combustible), se requiere de una cantidad de aire precisa (estequiométrica), que reaccione completamente con una determinada proporción de combustible. En la práctica, las condiciones de la combustión nunca son ideales y se necesita suministrar una cantidad adicional o en "exceso" de aire para quemar completamente el combustible.

La cantidad correcta de exceso de aire se determina a partir del análisis de los gases de combustión en cuanto a su contenido de oxígeno o de bióxido de carbono (O_2 – CO_2). La falta de este exceso de aire provoca una combustión incompleta y que en los gases de ésta aparezca hollín, humo, combustible no quemado y monóxido de carbono; por otra parte, demasiado exceso de aire resulta en pérdida de calor, debido al incremento del flujo de gases de combustión, que reduceí la eficiencia de la caldera.

La siguiente tabla relaciona las lecturas obtenidas en el análisis de los gases de combustión con la eficiencia de la caldera.

EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN PARA GAS NATURAL*						
% de exceso		Eficiencia de combustión				
		Diferencia de temperaturas: gases de combustión - aire (°C)				
Aire	Oxígeno	93.33	148.88	204.44	260.00	315.55
9.5	2.0	85.4	83.1	80.8	78.4	76.0
15.0	3.0	85.2	82.8	80.4	77.9	75.4
28.1	5.0	84.7	82.1	79.5	76.7	74.0
44.9	7.0	84.1	81.2	78.2	75.2	72.1
81.6	10.0	82.8	79.3	75.6	71.9	68.2

*** Se considera que existe una combustión completa**

Un sistema a gas natural bien diseñado puede trabajar con un exceso de aire del 10%. Por lo general, la eficiencia puede incrementarse en 1% por cada 15% de reducción en el exceso de aire o por cada 4.4°C que se reduzca la temperatura de los gases en la chimenea.

Ejemplo:

Una caldera que opera 8 000 horas al año, consume 527 550 000 MJ de gas natural y produce 20 454 kg/hr de vapor a 10.5 kg/cm^2. El análisis de los gases de combustión indica un nivel de exceso de aire de 44.9% y una diferencia de temperatura de 204.4°C, entre los gases de combustión y el aire para la combustión. En la tabla encontramos que la eficiencia de combustión es de 78.2% (E1). Al afinar la caldera, se reduce el exceso de aire a 9.5% y se obtiene una diferencia de temperaturas de 148.88°C. La eficiencia de combustión en la caldera aumenta a 83.1% (E2). Si el costo del vapor generado es de $ 0.05 $/MJ, los ahorros anuales serán:

Ahorro anual = Consumo de combustible x (1- E1/E2) x Costo del vapor

Ahorro anual = 527 550 000 x (1-78.2/83.1) x 0.05 = $ 1 555 352

Nota: El porcentaje de oxígeno en los gases de combustión puede ser medido con aparatos Orsat, que son relativamente económicos. Existen otros aparatos manuales computarizados, más caros, que muestran el contenido de oxígeno, la temperatura de los gases y la eficiencia de la combustión; éstos se justifican en generadores de vapor que consuman anualmente más de $ 500 000 en combustible.

Instale economizadores para recuperar calor de desperdicio

Un economizador, instalado para precalentar el agua de alimentación, reduce el consumo de combustible del generador de vapor al transferir calor de los gases de combustión al agua de alimentación que entra a la caldera. En la mayoría de los casos, los gases de combustión son enviados a la chimenea a temperaturas que superan entre 38 y 65 grados centígrados la del vapor generado. Por lo general, la eficiencia del generador se incrementa en 1% por cada 4.5°C de reducción en la temperatura de los gases de combustión. Así, al recuperar calor de desperdicio, los economizadores pueden disminuir el consumo de combustible entre un 5% y 10%, con lo que se cubre el costo de su instalación en menos de dos años. La siguiente tabla proporciona ejemplos del potencial de ahorro mediante la recuperación de calor.

Calor recuperable de los gases de combustión

Calor Recuperable MJ/hr				
Tempertura inicial de los gases de combustión (°C)	**Aporte térmico del generador, MJ/hr**			
	25000	50000	100000	200000
204	1300	2600	5300	10600
260	2300	4600	9200	18400
315	3300	6500	13000	26000

Cifras basadas en combustión de gas natural con 15% de exceso de aire y temperatura final de los gases en chimenea de 121°C.

Ejemplo:

Una caldera trabajando con gas natural, genera 20 000 kg/hr de vapor a 10 kg/cm^2. Se retorna condensado que se mezcla con agua de repuesto para dar una temperatura de 48°C en el agua de alimentación, mientras que en los gases de chimenea es de 260°C. Determine los ahorros anuales de energía que se obtendrán instalando un economizador, si se trabajan 8 400 horas al año y se tiene un costo de la energía de $ 0.05 por MJ.

De las tablas de vapor se obtiene la entalpía del vapor saturado a 10 kg/cm^2;

$$h = 2.777 \text{ MJ/kg}$$

y para el agua de alimentación a 48°C;

$$h = 0.20 \text{ MJ/kg}$$

El aporte térmico de la caldera es: 20 000 kg/hr x (2.777-0.20)MJ/kg = 51 540 MJ/hr.

Interpolando entre 50 000 y 100 000 MJ/hr, el calor recuperable para un aporte térmico de 51 540 MJ/hr, con una temperatura de 260°C en la chimenea, es de 4742 MJ/hr, y el ahorro anual será:

4 742 MJ/hr x 0.05 $/MJ x 8 400 hr = $ 1991 640

Límites para la temperatura en los gases de combustión.- La menor temperatura a la que pueden ser enfriados los gases de combustión depende del tipo de combustible usado: 122°C para gas natural, 148°C para carbón y combustibles derivados del petróleo con bajo contenido de azufre, y 176°C para combustibles derivados del petróleo con alto contenido de azufre. Estos límites se fijan para prevenir la condensación y el posible ataque ácido a la chimenea.

Establezca un costo de referencia para la generación de vapor

El establecimiento de un costo de referencia para la generación de vapor ($ / ton vapor) es una forma muy efectiva para determinar la eficiencia de su sistema de vapor. Este costo dependerá del tipo de combustible, su costo unitario, la eficiencia de la caldera, la temperatura del agua de alimentación y la presión del vapor. Con esto se tendrá una primera aproximación del costo de la generación de vapor y servirá como una herramienta para el registro y monitoreo del comportamiento de la caldera.

En la tabla 1 se muestra la cantidad de calor que se requiere para producir un kilogramo de vapor saturado a diferentes presiones de operación y varias temperaturas de agua de alimentación. La tabla 2 muestra el contenido de energía típico (poder calorífico) para varios combustibles.

TABLA 1

ENERGÍA REQUERIDA PARA PRODUCIR UN KILOGRAMO DE VAPOR SATURADO (k Joule)					
Presión de operación kg / cm^2	Temperatura de agua de alimentación (°C)				
	10	20	40	80	100
7	2719.33	2677.46	2593.72	2426.25	2342.57
10	2734.82	2692.95	2609.21	2441.74	2358.01
15	2749.89	2708.02	2624.29	2456.81	2373.08
20	2758.26	2716.40	2632.66	2465.19	2381.45
40	2760.78	2718.91	2635.17	2467.70	2383.96

Calculado a partir de las tablas de vapor. Diferencia entre la entalpía del vapor saturado y la del agua de alimentación.

TABLA 2.

PODER CALORÍFICO NETO DE LOS PRINCIPALES COMBUSTIBLES	
Combustible	Poder calorífico
Gas Licuado de Petróleo	23.48 MJ / lt
Diesel	34.97 MJ / lt
Combustóleo	40.20 MJ / lt
Gas natural	35 420 kJ / m^3

Fuente: Balance Nacional de Energía 2001

Ejemplo

Una caldera que utiliza gas natural con un costo de $ 1 295 por millar de metros cúbicos, produce vapor saturado a 20 kg/cm^2 y se alimenta con agua a 80°C. Usando los valores de las tablas y suponiendo una eficiencia en la caldera de 81.7 %, calcular el costo del vapor producido.

En la tabla 1 se encuentra que la diferencia de entalpías entre el vapor y el agua de alimentación es de 2465.19 kJ/kg

Costo del vapor producido = $$1000\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times \frac{2465.19\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{0.817} \times \frac{1.295\,\frac{\$}{\text{m}^3}}{35420\,\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}} = 110.32\,\frac{\$}{\text{ton}}$$

Mantenga libre de incrustaciones el lado del agua de las superficies de calefacción.

Incluso en las calderas pequeñas, la prevención de la formación de incrustaciones puede redituar en ahorros sustanciales de energía.

La incrustación se produce cuando el calcio, magnesio y 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 los intercambiadores de calor.

Esta incrustación crea un problema, debido a que típicamente posee una conductividad térmica menor que la del acero con 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. 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 tabla siguiente, se muestran las pérdidas de energía en función del espesor y composición de la incrustación.

PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR INCRUSTACIÓN				
Espesor de la 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	7.0
3/64	1.2	3.0	4.7	--
1/16	1.6	3.9	6.2	--

La incrustación "normal" se encuentra, por lo general, en aplicaciones de baja presión. Las incrustaciones de hierro y las de hierro - sílice aparecen en aplicaciones en alta presión.

Ejemplo:

Una caldera consume anualmente 474 795 000 millones de MJ de combustible, operando 8 000 horas y trabajando a su capacidad de 20 454 kg vapor/hora a 10.5 kg/cm^2.

Si se permite la formación de incrustación del tipo "normal" de 0.8 mm (1/32") de espesor en sus tubos, la tabla nos indica una pérdida del 2%. El aumento en el costo de operación de la caldera, asumiendo un costo de la energía de $ 0.032 /MJ, será:

Aumento anual en operación = 474 795 000 x 0.032 x 0.02 = $ 303 869

Monitoree 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 el exceso de aire constantes, el efecto se debe posiblemente a la presencia de incrustación.

Realice inspecciones visuales.- Inspeccione visualmente los tubos cuando la caldera se encuentra parada 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.

Aísle las líneas de distribución de vapor y las de retorno de condensado

Sin aislamiento adecuado, las líneas de distribución de vapor y las de retorno de condensado son una causa constante de desperdicio de energía. La tabla muestra las pérdidas típicas de calor que se tienen en estos casos. Un buen aislamiento puede reducir las pérdidas en un 90% y ayuda a mantener la presión requerida por los equipos de la planta. Deben ser aisladas todas aquellas superficies cuyas temperaturas se encuentren por arriba de los 50°C, incluyendo las de las calderas, líneas de vapor o de retorno de condensado, así como válvulas y accesorios.

Con frecuencia, el aislamiento se daña o es retirado y nunca vuelto a colocar durante las operaciones de reparación del sistema de vapor. Todo aislamiento dañado o húmedo debe ser reparado o repuesto de inmediato. Elimine las fuentes de humedad antes de reemplazar el aislamiento. Entre las causas que provocan humedad en éste, se incluyen las fugas en válvulas, tuberías o equipos adyacentes. Después de que las líneas de vapor son aisladas, los cambios en el flujo de calor pueden influenciar el comportamiento de otras partes del sistema de vapor.

PÉRDIDA DE CALOR POR CADA METRO DE LINEA DE VAPOR SIN AISLAMIENTO

Diámetro de la línea de distribución (mm)	Pérdida de calor en MJ/año			
	Presión del vapor (kg/cm^2)			
	1.05	**10.56**	**21.12**	**42.25**
25.4	4846	9866	12981	17135
50.8	8135	16616	21808	29078
101.6	14366	29424	38770	51924
203.2	25616	53309	70271	94329
304.8	36520	76156	100733	135695

En base a tubería de acero (horizontal), 24°C de temperatura ambiente, sin velocidad de viento y una operación anual de 8760 horas.

Ejemplo:

En una planta que trabaja continuamente y donde el costo del vapor es de $ 0.05 / MJ, una inspección del sistema de vapor detectó 340 m de tubería desnuda de 25.4 mm de diámetro y 53 m de tubería desnuda de 50.8 mm de diámetro, ambas operando a 10.56 kg/cm^2; se encontró también otra línea desnuda de 76 m y 101.6 mm de diámetro operando a 1.05 kg/cm^2.

En la tabla se indica que la cantidad de calor perdido por año es:

Línea de	25.4 mm	340 x 9866 MJ/año =	3 354 440
	50.8 mm	53 x 16616 MJ/año =	880 648
	101.6 mm	76 x 14366 MJ/año =	1 091 816

Total de pérdida de calor = 5 326 904 MJ/año

El monto anual del ahorro, instalando un aislamiento con el 90% de eficiencia, es:

0.90 x 0.05 $/MJ x 5 326 904 MJ/año = $ 239 710 anuales

Además del material para el aislamiento de tuberías, existen camisas removibles para el aislamiento de válvulas, bridas, trampas de vapor y otros accesorios. Recuerde que una válvula de 152 mm (6 plgs.) puede tener más de medio metro cuadrado de superficie por la que se pierde el calor.

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.

Tabla1.

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

Ajuste el 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 %	
ºC	(F)		
4.5	40	25.5	
10	50	20.2	
26.7	80	15	Ajuste inicial
37.8	100	9.6	
48.8	120	1.1	

Fuente: CI*BO, 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 entrampamiento 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.

Inspeccione y repare las trampas de vapor

En sistemas de vapor que no han recibido mantenimiento por más de tres o cinco años, suele ocurrir que el 15% y hasta el 30% de las trampas de vapor estén "atascadas"; algunas de éstas pueden estar en posición abierta y, por lo tanto, permitirán el escape de vapor vivo al sistema de retorno de condensado. En los sistemas de vapor sujetos a un programa de mantenimiento, el número de trampas abiertas no debe superar el 5% del total. Si su sistema cuenta con varias trampas, una revisión de su funcionamiento probablemente detectará pérdidas de vapor significativas.

Intervalos de revisión recomendados:

- ✓ Sistemas de alta presión (más de 10 kg/cm2).- Semanal o mensual
- ✓ Sistemas de presión media (de 2 a 10 kg/cm^2).- Mensual o trimestral
- ✓ Sistemas de baja presión (menos de 2 kg/cm^2).- Anual

Ejemplo:

Al hacer la revisión en una planta que trabaja continuamente y donde el costo del vapor es de $100.00 por tonelada (0.1 $/kg), se encontró que en una línea de vapor a 10.5 kg/cm^2 se ha quedado atascada una trampa en posición abierta, que tiene un orificio de 3.2 mm de diámetro. La tabla muestra una pérdida estimada de vapor de 34.45 kg/hr; el ahorro anual por la reparación de la trampa será:

Ahorro = 34.45 kg/hr x 8 760 hr/año x 100/1 000 kg = $ 30 178.20

DESCARGA DE VAPOR EN TRAMPAS ABIERTAS				
Diámetro del orificio de la trampa (mm)	Pérdida de vapor (kg vapor/hora)			
	Presión del vapor (kg/cm^2)			
	1.05	**7.04**	**10.56**	**21.12**
0.79	0.38	1.50	2.18	
1.58	1.54	6.00	8.59	16.45
3.17	6.23	24.00	34.45	65.91
4.76	13.95	54.09	77.27	148.18
6.35	24.86	95.90	137.72	263.18
9.52	55.91	215.90	310.00	592.27

Revisión de trampas de vapor

Las trampas de vapor se revisan para determinar si están funcionando adecuadamente y no se han quedado atascadas, ya sea cerradas o en posición abierta; en este último caso, permiten que el vapor vivo escape hacia el sistema de retorno de condensado. Existen cuatro formas básicas para revisar el funcionamiento de las trampas: por temperatura, sonido, visualmente y electrónicamente.

Se sugiere el establecimiento de un programa de revisión para detectar oportunamente las trampas que fallan y poder repararlas. Elabore un formato de reporte para asegurar la cobertura de todas las trampas y establezca un mecanismo que documente los ahorros de energía y económicos.

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 kg vapor/hora	% Pérdidas
900 000	0.5
45 500	0.7
23 000	0.9
9 000	1
Menores a 9 000	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.