

# GUÍA DE EFICIENCIA DE LA CALDERA

DATOS QUE DEBERÍA SABER  
acerca de las  
CALDERAS HUMOTUBULARES  
y la  
EFICIENCIA DE LA CALDERA



---

# Tabla de contenido

<b>Prólogo</b> .....	<b>3</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>4</b>
Reemplazar o reparar .....	4
<b>Diseño eficiente de la caldera</b> .....	<b>5</b>
Diámetro del horno .....	6
Tipo de tubo .....	7
Pasos de la caldera .....	8
Superficie de calentamiento .....	8
Compatibilidad de quemador, caldera y controles .....	8
Control repetible de aire y combustible .....	9
<b>Definición de la eficiencia de la caldera</b> .....	<b>11</b>
Eficiencia de combustión .....	11
Eficiencia térmica .....	11
Eficiencia de combustible a vapor .....	11
“Eficiencia de la caldera” .....	12
<b>Cálculo de la eficiencia</b> .....	<b>12</b>
Temperatura de los gases de combustión .....	12
Especificación de combustible .....	13
Aire sobrante .....	14
Temperatura ambiente .....	16
Pérdidas de radiación y convección .....	16
<b>Eficiencia de funcionamiento</b> .....	<b>17</b>
Temperatura de retorno del agua caliente .....	17
Presión del vapor .....	17
Temperatura del agua de alimentación .....	17
Acumulación de sarro y desagüe de la caldera .....	17
Funcionamiento cíclico de la caldera/Reducción del quemador .....	19
<b>Resumen</b> .....	<b>19</b>
<b>Ejemplos de eficiencia de la caldera</b> .....	<b>20</b>

# Prólogo

Las aplicaciones actuales de proceso y calentamiento siguen alimentándose con agua caliente y vapor. La tecnología fundamental para la generación de energía de calentamiento o proceso es la caldera unitaria. Las calderas humotubulares unitarias han demostrado ser altamente eficientes y rentables en la generación de energía para aplicaciones de proceso y calentamiento.

Realizar una evaluación minuciosa del equipo de caldera requiere revisar el tipo de caldera, la comparación de características y beneficios, los requisitos de mantenimiento y los requisitos de uso de combustible. De estos criterios de evaluación, un factor clave es el uso de combustible o la eficiencia de la caldera.

La eficiencia de la caldera, en los términos más simples, representa la diferencia entre la entrada de energía y la salida de energía. Una caldera típica consumirá muchas veces el gasto capital inicial en uso de combustible anualmente. En consecuencia, una diferencia de solo unos cuantos puntos porcentuales en la eficiencia de la caldera entre unidades se puede traducir en ahorros considerables. Los datos de eficiencia usados para la comparación entre calderas se deben basar en rendimiento comprobado para producir una comparación precisa del uso de combustible. Sin embargo, con los años, la eficiencia se ha representado en términos confusos o de maneras donde el valor de eficiencia no representaba precisamente los valores de uso de combustible comprobado. Cuando no se define correctamente, la “eficiencia de la caldera” puede no representar verdaderamente la diferencia entre la entrada de energía y la salida de energía del equipo.

Esta guía está destinada a ofrecer una definición clara de la eficiencia de la caldera. Además, le dará los antecedentes necesarios para realizar las preguntas correctas cuando evalúe los datos de eficiencia y le brindará las herramientas necesarias para comparar de manera precisa el uso de combustible de los productos de caldera. Recuerde, el costo inicial de una caldera es la parte más baja de su inversión en la caldera. Los costos de combustible y mantenimiento representan una parte aún más grande.

No todas las calderas son iguales. Algunas diferencias de diseño pueden revelar variaciones en los niveles de rendimiento de eficiencia esperados. La evaluación de estas diferencias de diseño puede proporcionar conocimiento acerca del valor de eficiencia y los costos operativos resultantes que se pueden esperar.

Todas las calderas funcionan con los mismos principios termodinámicos fundamentales. Por lo tanto, se puede calcular una eficiencia teórica máxima para un diseño dado de caldera. El valor máximo representa la eficiencia más alta disponible de la unidad. Cuando se evalúa una caldera cuyas eficiencias indicadas son mayores que el valor de eficiencia teórica, tenga en cuenta que el valor de eficiencia que está utilizando puede no representar fielmente el uso de combustible de la unidad.

Al final, la eficiencia se reduce al valor: el valor de la caldera, el valor del quemador, el valor de los controles y el valor de la asistencia proporcionada durante toda la vida útil del equipo. En Cleaver-Brooks, hemos construido nuestra reputación mediante la fabricación de los productos de mayor eficiencia y mayor valor en la industria. Nos enorgullecemos de proporcionar la asistencia de servicio más integral y confiable a través de nuestra red de representantes, que es “la mejor de la industria”. Cuando se trata de eficiencia, creemos en adherirnos a los hechos: porque los hechos indican que hay diferencias entre calderas y empresas de calderas. Una caldera CB de mayor eficiencia da dividendos todos los días, todos los años, durante toda la vida útil del equipo.

# Introducción

¿Por qué elegir la caldera más eficiente?

Una caldera es esencialmente la cuota inicial en la compra de vapor o agua caliente. Los pagos para generar energía son constantes durante toda la vida útil del equipo y están impulsados por costos de mantenimiento y la eficiencia de combustible a vapor. Incluso con los costos económicos del combustible, la selección de una caldera de alta eficiencia generará ahorros considerables en costos. Una instalación de caldera que cueste \$150,000 puede consumir fácilmente más de \$1,000,000 en combustible anualmente a los valores actuales de energía. Los valores de energía a futuro de seguro serán mucho más altos. La selección de una caldera con bajo mantenimiento y alta eficiencia “de diseño” puede ofrecer excepcionales ahorros todos los años y maximizará su inversión en la caldera para hoy y el futuro.

La eficiencia es útil solamente si se puede repetir y sostener durante toda la vida útil del equipo. Elegir la caldera más eficiente es más que solo elegir un proveedor que esté dispuesto a satisfacer un valor de eficiencia dado. La tecnología de control del quemador debe ser capaz de un rendimiento confiable y repetible. La experiencia con una variedad de diseños de caldera y quemador mostrará que los quemadores con un diseño de caída de alta presión con posicionamiento paralelo y controles de PLC son fáciles de ajustar y mantienen precisamente la relación de aire a combustible. Los quemadores con diseños de regulador de tiro de baja calidad y conjuntos de conexión articulada complejos tienden a tener una configuración más difícil en el rango de encendido de la caldera, y tienden a no poder mantener de manera precisa la relación de aire y combustible en el tiempo.

¿Por qué elegir la caldera más eficiente? Porque los dividendos dados anualmente superan considerablemente los ahorros en costos iniciales de un diseño menos eficiente. ¿Cuál es la caldera más eficiente? Una que no solo arranque de manera eficiente, sino que siga funcionando de manera eficiente año tras año.

## ¿Reemplazar o reparar?

La decisión de comprar una nueva caldera generalmente proviene de la necesidad de reemplazar una caldera antigua, una expansión de una sala de calderas existente o la construcción de una nueva instalación de sala de calderas.



Cuando considere el reemplazo de una caldera antigua, revise los siguientes puntos para asegurarse de que realiza una evaluación minuciosa de la situación:

1. **Costos de mantenimiento:** Revise atentamente sus costos de mantenimiento. Las unidades más antiguas pueden ser costosas por diversas razones, como mantenimiento de emergencia, tiempo de inactividad, requisitos de mantenimiento importantes (pasados y pendientes), repuestos difíciles de encontrar y costosos, tiempo del operador para mantener la unidad en línea, y problemas generales del recipiente, el quemador y el refractario. Muchos de estos costos se pueden ocultar dentro del presupuesto de mantenimiento general. Paga el precio de tener un equipo de sala de calderas obsoleto. Sin embargo, los costos se deben investigar y totalizar.
2. **Rendimiento de la caldera:** Las calderas nuevas deben tener estándares de rendimiento mucho más altos que las unidades de diseño más antiguo. La alta eficiencia garantizada, la alta reducción, el control de quemador de relación de aire a combustible precisa y repetible, los controles de caldera programables, el cambio automático de combustible, el resguardo automático de aire sobrante, la tecnología de emisiones ultra bajas, y la conectividad a sistemas de automatización del edificio están disponibles en muchos estilos de calderas modernas. El resultado es el control automático de la caldera con menores costos de operación para su instalación. Todos estos son motivos de ahorro en costos para considerar una nueva caldera unitaria.
3. **Uso de combustible:** Si su unidad antigua está diseñada para encender aceite combustible de grado bajo, o si desea evaluar la capacidad de propano u otro combustible distinto, revise los costos de conversión junto con los asuntos de mantenimiento, rendimiento y eficiencia existentes para ver si es el momento correcto para considerar la compra de una nueva caldera. Muchas veces se realiza una inversión en una unidad antigua cuando los costos asociados con el próximo requisito de mantenimiento importante justificarán una unidad nueva. El resultado es el gasto de dinero en la actualización de la unidad antigua.
4. **Eficiencia:** El representante de Cleaver-Brooks puede ayudarlo a revisar la eficiencia de su caldera antigua con un simple análisis de gases en la chimenea. Los datos le darán una idea general de la diferencia entre el costo de combustible de la caldera existente y de una unidad nueva. Según los resultados de la evaluación de los gases en la chimenea, se debería realizar una evaluación más minuciosa de los requisitos de su sala de calderas. Se debería evaluar el tamaño de la caldera, las características de carga, los requisitos de reducción, los requisitos de respaldo, el tipo de combustible, los requisitos de control y los requisitos de emisión. El resultado será una revisión precisa de los posibles ahorros en combustible, mantenimiento y eficiencia de la sala de calderas que puede significar una mejora considerable de costos para su instalación.
5. **Emisiones:** Los cambios de los reglamentos en muchas jurisdicciones ahora requieren quemadores de NOx bajo o NOx ultra bajo. Una opción es solo reemplazar el quemador y los controles. Sin embargo, como con las conversiones de combustible, a menudo es más económico reemplazar toda la caldera cuando se considera la eficiencia general, lo que resta del ciclo de vida útil de la caldera y los costos de mantenimiento.

## Diseño eficiente de la caldera

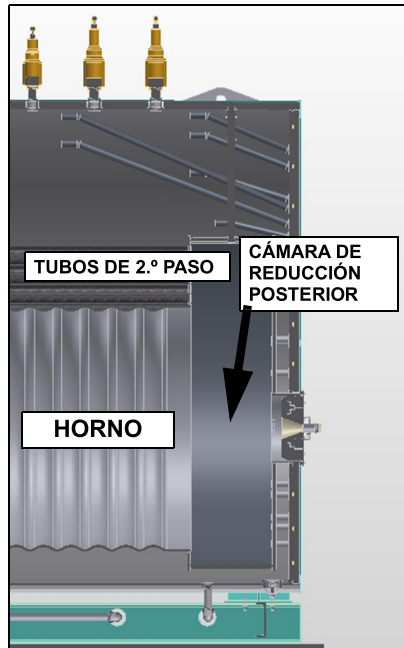
Las calderas humotubulares están disponibles en dos diseños básicos de recipiente, *seco* o *húmedo*. La diferencia radica en el área de reducción posterior de los gases de combustión en la parte posterior de la caldera. Cada diseño tiene sus propias ventajas y desventajas.

**Seco:** Una caldera de diseño seco de múltiples pasos está diseñada con una puerta trasera que contiene deflectores internos para dirigir los gases de combustión desde y hacia cada paso individual. Debido a que la puerta trasera está expuesta a gases a alta temperatura que salen del horno del primer paso, la puerta se debe forrar con material refractario para alta temperatura para minimizar la pérdida de calor. El material refractario para alta temperatura requiere inspección y mantenimiento preventivo para garantizar su rendimiento máximo y una vida útil prolongada. En la práctica, la vida útil del material refractario depende de la instalación y está relacionada directamente con la operación, el cuidado y el mantenimiento adecuados de la caldera. Debido al diseño de la puerta trasera, una caldera seca será más corta que una caldera húmeda similar de la misma capacidad. La parte posterior de la caldera contiene solo una placa tubular, lo que genera menos soldaduras y una excelente circulación de agua. La mayor ventaja de un diseño seco es que tanto la placa tubular delantera como trasera son completamente accesibles para inspección, y permiten el retiro de los tubos desde cualquier extremo de la caldera. Esto permite un mantenimiento de rutina más fácil, lo que se traduce en menores costos de mantenimiento general. Debido al peso del material refractario y la puerta trasera, las calderas secas solo están disponibles hasta 800 HP.

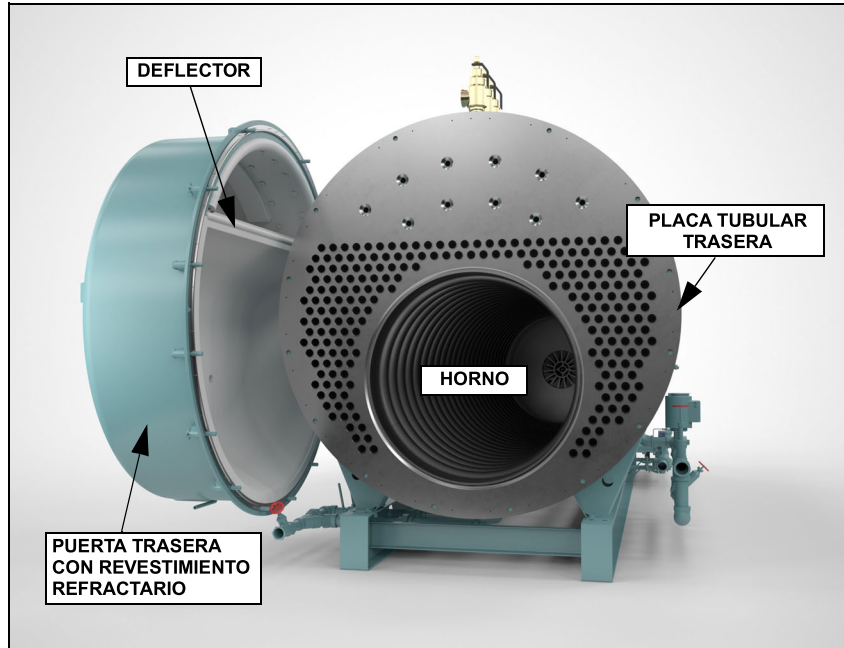
**Húmedo:** Una caldera de diseño húmedo de múltiples pasos está diseñada con una cámara interna de reducción posterior, rodeada de agua, para dirigir los gases de combustión calientes desde la salida del horno a los tubos del segundo paso. En las calderas de tres y cuatro pasos, los tubos del tercer y cuarto paso se extienden más allá de esta cámara interna a una segunda placa tubular en la parte posterior de la caldera. Debido a que la puerta trasera no está expuesta a los gases de combustión más calientes, no hay necesidad

de un material refractario fundido para alta temperatura. Sin embargo, debido a la cámara interna de reducción posterior, una caldera húmeda será más larga que una caldera seca de la misma capacidad. Solo se puede acceder a las placas tubulares traseras a través de un pozo de acceso angosto, lo que requiere un permiso para espacios confinados para realizar el trabajo. Además, se deben retirar todos los tubos a través de la parte delantera de la caldera, lo que limita la flexibilidad de diseño.

Las calderas húmedas son la única opción de 1,000 HP a 2,500 HP.



Caldera húmeda (dos pasos)

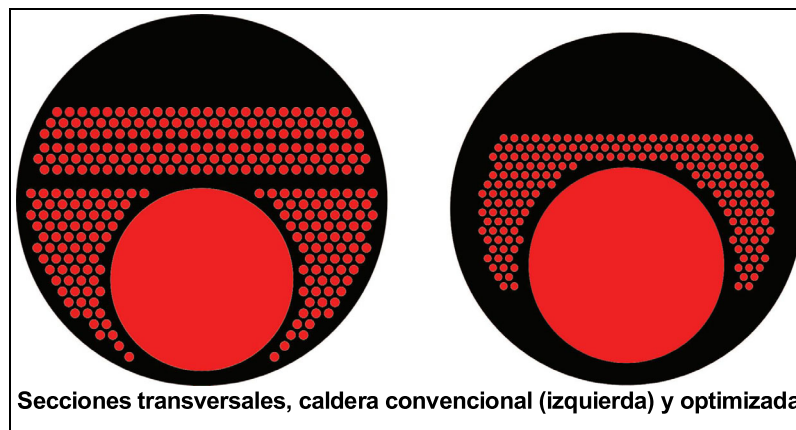


Caldera seca

Aunque el diseño de reducción posterior de la caldera puede ser un factor importante cuando se consideran los requisitos de mantenimiento o espacio, otras características de diseño afectan de manera más directa a la eficiencia de la caldera. Estas se analizan a continuación.

### Diámetro del horno

Los hornos humotubulares se diseñaron originalmente para una velocidad de liberación de calor de 150,000 Btu/h/pie<sup>3</sup>. Con los años, se descubrió que era un buen acuerdo entre el tamaño de la caldera y el esfuerzo térmico del horno. Las velocidades de liberación de calor inferiores a 150,000 Btu/h/pie<sup>3</sup> requieren una mayor cantidad de tubos y pasos para llegar a la capacidad, lo que se traduce en una caldera más grande y más costosa. Las velocidades de liberación de calor superiores a 150,000 Btu/h/pie<sup>3</sup> generaron fallas prematuras del horno. Generalmente, el horno representa el 40 % a 50 % de la transferencia de calor del recipiente.

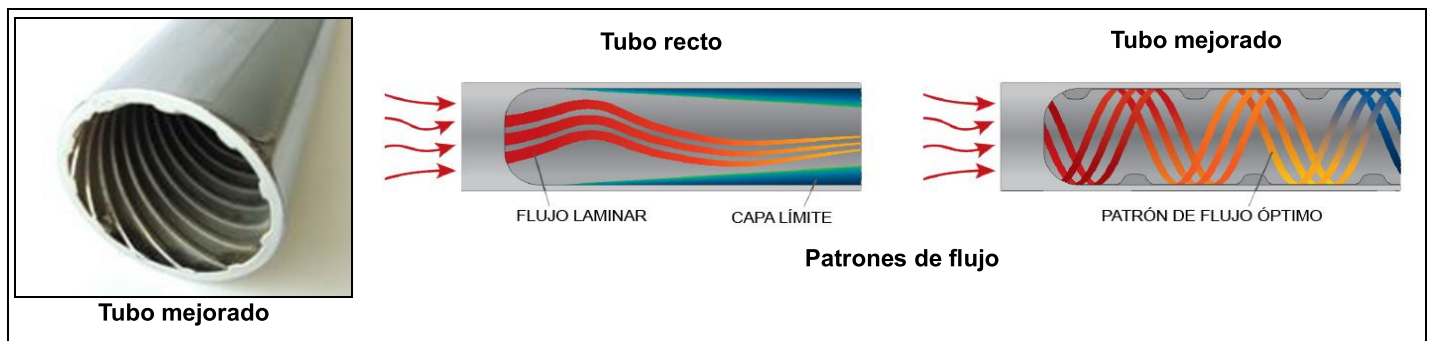


Secciones transversales, caldera convencional (izquierda) y optimizada

Últimamente, los estudios que usan Dinámica de fluidos computacional (CFD, Computational Fluid Dynamics) han mostrado que tener un horno de mayor diámetro (con una velocidad de liberación de calor de aproximadamente 125,000 Btu/h/pe<sup>3</sup>) es realmente más eficaz en la transferencia de calor. El horno más grande ahora representa el 60 % a 70 % de la transferencia de calor en la caldera. Como resultado, se necesitan menos tubos en los pasos restantes. Además, el diámetro más grande funcionó mejor con quemadores de NOx ultra bajo, lo que permitió que las calderas alcancen hasta 5 PPM de NOx sin el uso de Reducción catalítica selectiva (SCR, Selective Catalytic Reduction). Finalmente, el horno más grande tiene menos esfuerzo y funciona con temperaturas superficiales más bajas.

## Tipo de tubo

Todas las calderas humotubulares originalmente usaban tubos lisos como la única opción disponible. El problema con los tubos lisos es que una capa de gas caliente se adherirá a los tubos y reducirá la transferencia de calor. Como resultado de esto, se requerirán más tubos. Recientemente, se desarrollaron tubos mejorados con un arco espiral elevado en la superficie interior. El arco elevado aumenta la turbulencia, lo que reduce la capa límite. Además, la altura del arco aumenta el área de superficie total del tubo. Como resultado de esto, la velocidad de transferencia de calor es 85 % mayor que el tubo liso tradicional. Con más del doble de velocidad de transferencia de calor, solo se requiere la mitad del área total del tubo para la misma transferencia de calor.



Antes de la llegada de tubos mejorados, algunos fabricantes instalaron “turbuladores” en los tubos para aumentar la transferencia de calor. Estos turbuladores eran trozos delgados de láminas de metal insertados en los tubos en un intento de crear turbulencia. Hubo varios problemas con los turbuladores. Primero, agregaban caída de presión a los tubos. Esta caída de presión con frecuencia no era considerada en el diseño del quemador y provocaba una reducción de capacidad o problemas de combustión. En segundo lugar, los turbuladores generaban acumulación de hollín cuando funcionaban con aceite combustible. Además, se debían retirar los tubos para limpiarlos. Finalmente, con el tiempo, la lámina de metal fallaría debido a la repetición del calentamiento y enfriamiento, lo que provocaría la pérdida de eficiencia y el costoso reemplazo de los turbuladores. Los tubos mejorados no tienen esas desventajas. El arco es un relieve en la pared del tubo, lo que deja el centro despejado para una limpieza fácil. Ya que están diseñados como parte de la caldera, la caída de presión adicional se considera en el diseño del quemador.

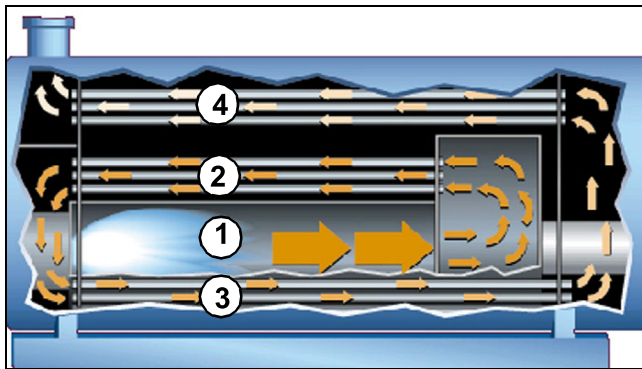
En general, los tubos mejorados se prefieren para la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo, hay instancias cuando los tubos lisos son una mejor opción, por ejemplo, cuando se encienden combustibles sucios, como aceite combustible n.º 6 o gas de digestor.



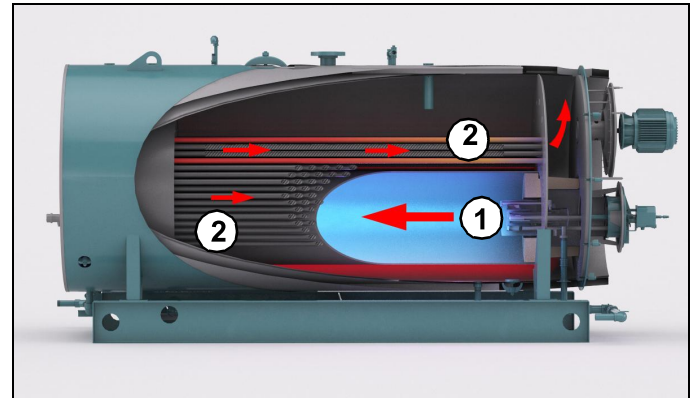
Turbulador

## Pasos de la caldera

La cantidad de pasos de la caldera, aunque no indica de por sí la eficiencia de la caldera, se vuelve importante cuando se considera en conjunto con el diámetro del horno y el tipo de tubo. La cantidad de pasos representa la cantidad de veces que los gases de combustión calientes viajan a través de la caldera (intercambiador de calor). Una caldera con dos pasos proporciona dos oportunidades para que los gases calientes transfieran el calor al agua en la caldera. El diseño de cuatro pasos proporciona cuatro oportunidades de transferencia de calor.



Caldera de cuatro pasos



Caldera de dos pasos

## Superficie de calentamiento

Hasta hace poco, la eficiencia de transferencia de calor se consideraba en términos del área total disponible para la transferencia de calor. En igualdad de condiciones, la caldera con el área de transferencia de calor más grande sería la más eficiente, con un estándar de cinco pies cuadrados de superficie de calentamiento por caballos de fuerza de la caldera (5 pies<sup>2</sup>/bhp). Este estándar, establecido por Cleaver-Brooks, se desarrolló con años de investigación y pruebas, con el objetivo de aumentar la eficiencia y la esperanza de vida útil de la caldera a un costo razonable.

Con las rápidas mejoras en tecnología de computadoras, ahora se usa el modelo de dinámica de fluidos computacional para desarrollar diseños que se desvían de este estándar. Los diseños de caldera humotubular están disponibles con una superficie de calentamiento de un mínimo de 2.5 pies cuadrados, mientras que alcanzan una eficiencia igual o superior que los diseños con el estándar de 5 pies<sup>2</sup>/bhp, sin comprometer la duración del recipiente. La ingeniería precisa es fundamental para lograr estos resultados. Los diseños que usan menos que el estándar de cinco pies cuadrados solo pueden lograr estos resultados a través de la optimización completa de todos los aspectos del proceso de transferencia de calor, desde un desarrollo adaptado de caldera y quemador, diseño optimizado de horno para lograr una transferencia alta de calor radiante, el diseño optimizado del tubo, la ubicación crítica de los pasos de caldera dentro del recipiente, e incluso la circulación adecuada de agua de alimentación o de retorno para mejorar aún más la transferencia general de calor.

Cuando se considere un diseño que use menos que la superficie de calentamiento estándar, una buena práctica es solicitar datos para confirmar las declaraciones de rendimiento y duración del fabricante.

En lugar de confiar en reglas de oro anticuadas, el propietario y el ingeniero deberán seleccionar la caldera que se adapte mejor a la especificación y, luego, especificar una eficiencia mínima. Las especificaciones deberían requerir que cada fabricante proporcione datos de rendimiento garantizados del modelo exacto de caldera, con el quemador y los controles especificados, lo que incluirá sanciones monetarias por el incumplimiento.

## Compatibilidad de quemador, caldera y controles

El término *caldera unitaria* se usa a veces incluso si un quemador fabricado por un proveedor está empernado en una caldera fabricada por un proveedor distinto, con controles de un tercer proveedor. ¿Debería considerarse empernar un quemador y controles “comprados” en un recipiente realmente como una caldera unitaria? Y más importante, ¿por qué importa?

Un diseño unitario real incluye un quemador, caldera y controles desarrollados como una sola unidad. Un diseño unitario garantiza que las variables que afectan el rendimiento, como la geometría del horno y las características de transferencia de calor, se puedan comparar y verificar continuamente durante el desarrollo, lo que aumenta la posibilidad de que los diversos componentes funcionarán en conjunto de manera armoniosa. Además, los usuarios pueden confiar que habrá un solo responsable por el soporte técnico del producto.

El automóvil proporciona una analogía útil. Es posible instalar un motor diseñado para una marca de automóvil en una marca completamente distinta de automóvil. El vehículo resultante puede funcionar razonablemente bien. Pero, ¿tendrá la misma eficiencia de combustible y confiabilidad que si hubiera salido de la fábrica de esa manera? ¿Es el motor realmente adecuado para el automóvil o habrá problemas y dolores de cabeza en el camino? ¿Quién realizará mantenimiento? ¿El fabricante del motor? ¿El fabricante del automóvil?

Una caldera con recipiente, quemador y controles de distintos fabricantes presenta un caso similar. Aunque la unidad puede arrancar y funcionar, se han hecho arreglos para unir el quemador a la caldera, lo que afecta el rendimiento, la eficiencia, o ambos. ¿Puede el paquete de quemador, caldera y controles alcanzar una reducción alta, eficiencia de combustible y bajas emisiones? ¿Quién garantizará el rendimiento y quién es responsable si la caldera falla? ¿El fabricante del quemador? ¿El fabricante de la caldera? ¿El proveedor de los controles? El paquete de quemador comprado puede afectar el rendimiento, aumentar los costos de arranque y aumentar los requisitos de mantenimiento.

Todos los modelos de caldera humotubular estándar de Cleaver-Brooks se prueban exhaustivamente durante el desarrollo en nuestra instalación de investigación y desarrollo (R&D) en Milwaukee, WI. Las pruebas incluyen lo siguiente:

- quemadores y controles
- capacidad de la caldera
- reducción
- calidad de vapor
- eficiencia de combustible a vapor o agua
- emisiones

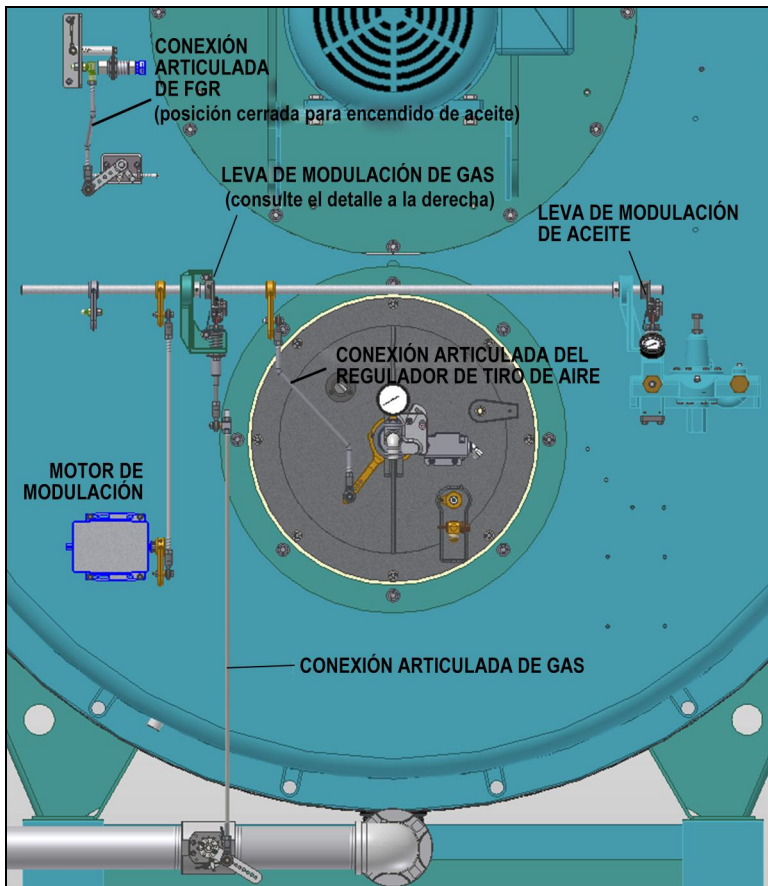
Además, la mayoría de las calderas cuentan con clasificación UL como un paquete de quemador, caldera y controles.

Nuestro extenso régimen de pruebas permite que Cleaver-Brooks garantice que la caldera cumplirá con la capacidad, las emisiones y la reducción indicadas. Proporcionamos una garantía de eficiencia de combustible a vapor de hasta \$25,000 (según el modelo de caldera) para cada punto de eficiencia bajo nuestros datos publicados.

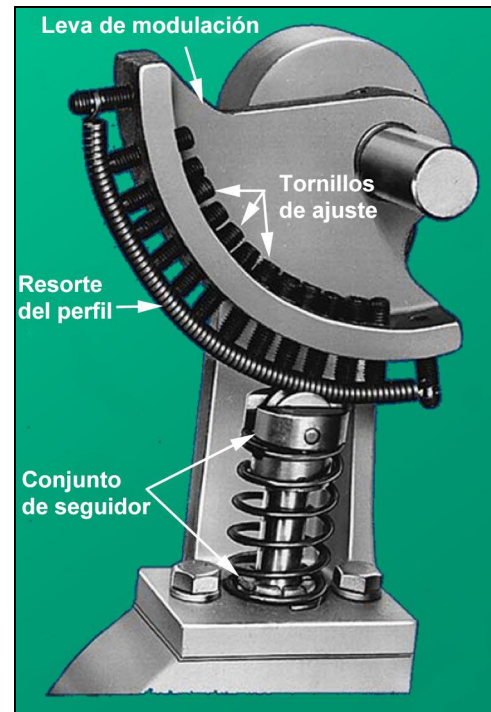
### **Control repetible de aire y combustible**

La eficiencia de funcionamiento de la caldera depende de la capacidad del sistema de quemador para proporcionar la mezcla adecuada de aire a combustible en todo el rango de encendido, de manera constante, repetible y sin necesidad de configuraciones y ajustes complejos. Las estrategias contemporáneas de control comprenden dos métodos principales:

**Posicionamiento de un solo punto:** Un solo accionador de control acciona tanto la válvula de combustible y el regulador de tiro de aire de combustión en tándem. La mayoría de las calderas en el mercado se ofrecen con este tipo de sistema, ya sea estándar o de manera opcional; sin embargo, no todos los diseños son iguales. Muchos diseños utilizan conjuntos de conexiones articuladas completas con múltiples pivotes, pasadores y otros puntos que están sujetos a desgaste o deslizamiento. Estos diseños complejos no mantienen la configuración precisa de aire a combustible con el tiempo, lo que genera la necesidad de ajustar el quemador a niveles altos de aire sobrante para compensar la inconsistencia en el rendimiento del quemador. El combustible que usa la caldera, y la factura mensual que genera, se basan en la eficiencia diaria real de la unidad, no en el rendimiento de un solo día. Cuando evalúe los quemadores, insista en un conjunto de conexión articulada simple y resistente, y un diseño de quemador de fácil acceso para una verdadera eficiencia y ahorros reales de costos.

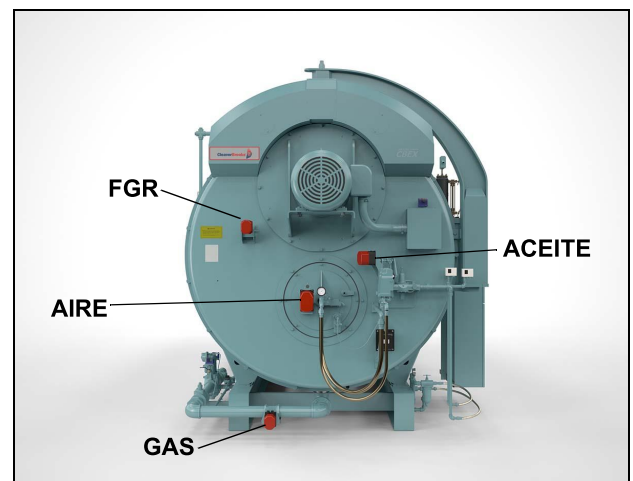


Conexión articulada del cabezal delantero: sistema de un solo punto



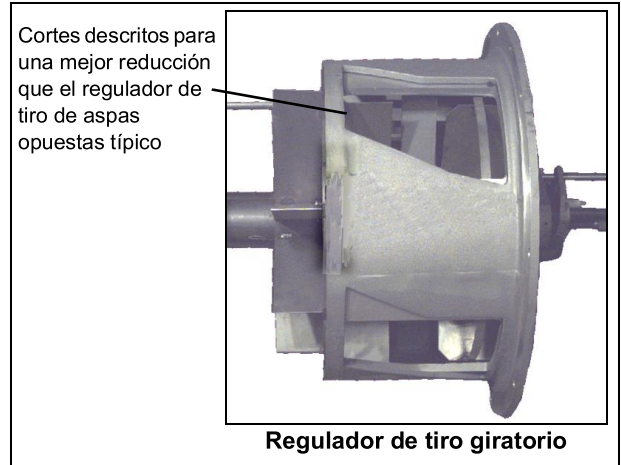
Leva de modulación

**Posicionamiento paralelo:** Se usan accionadores independientes para controlar el combustible y el aire de combustión de manera independiente. Estos sistemas, cuando se emparejan con lo más reciente de tecnología avanzada de control programable, permiten un control muy preciso de la relación de aire a combustible con excelente capacidad de repetición. Estos sistemas también permiten opciones avanzadas, como cambio automático de combustible, y monitoreo y optimización reales de combustión (ajuste de O<sub>2</sub> de los gases de combustión) de manera similar a un automóvil, sin la necesidad de conexiones articuladas complejas o dispositivos complementarios adicionales. Cuando evalúe un sistema de posicionamiento paralelo, insista en accionadores resistentes de alto par de torsión que se puedan reemplazar en terreno sin la necesidad de volver a poner en marcha la caldera para que vuelva a funcionar. Insista en una configuración fácil y directa, con la flexibilidad para alcanzar la curva óptima de aire a combustible para su caldera, en su ubicación, y que le sirva a sus sistemas. Un sistema de quemador con posicionamiento paralelo de buen diseño, además del monitoreo y resguardo de combustión en tiempo real, alcanzarán el nivel más alto posible de ahorro diario en combustible.



Posicionamiento paralelo

Tanto los sistemas de un solo punto como los de posicionamiento paralelo requieren disposiciones para la descarga y el control de aire de combustión. Un regulador de tiro de aire controla la apertura a través de la cual ingresa el aire a la zona de combustión. Los conjuntos de regulador de tiro de registro o de aspas de baja calidad tienden a tener un control limitado de aire en condiciones de fuego bajo y también tienden a ser mucho menos repetibles que los diseños de regulador de tiro radial. Un regulador de tiro de registro o de aspas de baja calidad afectará al quemador de la misma manera que una conexión articulada compleja de baja calidad. El resultado es un control de quemador inconsistente y la necesidad de más aire sobrante para compensar. Insista en un regulador de tiro resistente de alta calidad para garantizar la mejor eficiencia día tras día.



También se debe considerar el diseño del ventilador de aire de combustión. Se prefiere un conjunto de ventilador de aluminio fundido, lo que proporciona tolerancias estrictas para la máxima eficiencia y mayor vida útil del ventilador. Sin un ventilador capaz de ofrecer un suministro estable y predecible de aire, se desperdician los mejores diseños disponibles de control del quemador y regulador de tiro. Esto es especialmente verdad si se usará una transmisión de velocidad variable, la que se está convirtiendo en una opción más popular para reducir el consumo eléctrico del ventilador, y además como un medio adicional para reducir el aire sobrante. La naturaleza estable de un ventilador inclinado hacia atrás con la alta eficiencia de la construcción fundida del ventilador generan una alta eficiencia y repetibilidad diarias, lo que tiene como resultado ahorros reales en combustible que dan dividendos durante la vida útil de la caldera.

## Definición de la eficiencia de la caldera

### Eficiencia de combustión

La eficiencia de combustión es una indicación de la capacidad del quemador para quemar combustible, y no es lo mismo que la eficiencia general de la caldera. La cantidad de combustible no quemado y el aire sobrante en el escape se usan para evaluar la eficiencia de combustión del quemador. Los quemadores que generan niveles bajos de combustible no quemado mientras funcionan con niveles bajos de aire sobrante se consideran eficientes. Los quemadores convencionales bien diseñados que encienden combustibles gaseosos y líquidos funcionan con niveles de aire sobrante del 15 %, lo que produce un nivel insignificante de combustible no quemado. Los quemadores de emisiones ultra bajas bien diseñados funcionan con un nivel de aire sobrante más alto del 25 % para reducir las emisiones a niveles muy bajos. Mediante el funcionamiento al requisito mínimo de aire sobrante, se usa menos calor del proceso de combustión para calentar el aire de combustión sobrante, lo que aumenta la energía disponible para la carga. La eficiencia de combustión no es la misma para todos los combustibles y, generalmente, los combustibles gaseosos y líquidos se queman más fácilmente que los combustibles sólidos.

### Eficiencia térmica

La eficiencia térmica es una medida de la eficiencia del intercambiador de calor de la caldera. Mide la capacidad del intercambiador para transferir calor desde el proceso de combustión al agua o el vapor en la caldera. Ya que la eficiencia térmica es solo una medición de la eficiencia del intercambiador de calor de la caldera, no considera las pérdidas de radiación y convección debido a la carcasa de la caldera, la columna de agua u otros componentes. De acuerdo con esto, no es una indicación real del uso de combustible de la caldera y no se debería usar para evaluaciones económicas.

### Eficiencia de combustible a vapor

La eficiencia de combustible a vapor es una medida de la eficiencia general de estado constante de la caldera. Considera la eficiencia de combustión del quemador, la eficacia del intercambiador de calor, además de las pérdidas de radiación y convección. Es una indicación de la eficiencia real de la caldera y se debería ser la eficiencia utilizada en evaluaciones económicas. Según lo determina el Código de Pruebas de Energía (Power Test Code) de ASME, PTC 4.1, la eficiencia de combustible a vapor de una caldera se puede determinar mediante dos métodos; el método de entrada-salida y el método de equilibrio de calor.

**Método de entrada-salida:** Para calcular la eficiencia, en el método de entrada-salida se divide la salida de la caldera (en Btu/h) por la entrada de la caldera (en Btu/h) y se multiplica por 100. La entrada y salida reales de la caldera se determinan con instrumentos.

**Método de equilibrio de calor:** El método de medición de eficiencia con equilibrio de calor se basa en considerar todas las pérdidas de calor de la caldera. El método consiste en restar del 100 por ciento, el porcentaje total de pérdidas de gases en la chimenea, radiación y convección. El valor resultante es la eficiencia de combustible a vapor de la caldera.

**Pérdidas de gases en la chimenea:** La temperatura de los gases en la chimenea es una medida del calor transportado por los gases de combustión secos y el vapor de agua que salen de la caldera a través de la chimenea. Es un buen indicador de la eficiencia de la caldera. La temperatura de los gases en la chimenea refleja la energía que no se transfirió desde el combustible al vapor o agua caliente. Mientras más baja sea la temperatura de los gases en la chimenea, más eficiente es el diseño del intercambiador de calor y mayor es la eficiencia de combustible a vapor.

**Pérdidas de radiación y convección:** Todas las calderas tienen pérdidas de radiación y convección. Las pérdidas representan el calor que se irradia de la caldera (pérdidas de radiación) y el calor perdido debido al flujo de aire a través de la caldera (pérdidas de convección). Las pérdidas de radiación y convección, expresadas en Btu/h, son esencialmente constantes en todo el rango de encendido de una caldera en particular, pero puede variar entre distintos tipos de caldera, tamaños y presiones de funcionamiento.

### “Eficiencia de la caldera”

El término “eficiencia de la caldera” a menudo se sustituye por eficiencia térmica o eficiencia de combustible a vapor. Cuando se usa el término “eficiencia de la caldera”, es importante conocer qué tipo de eficiencia se analiza. Por los motivos destacados anteriormente, la eficiencia de combustible a vapor da una mejor indicación de la eficiencia general de la caldera, en lugar de la eficiencia térmica o de combustión. El fabricante debería definir el término “eficiencia de la caldera” antes de que se use en cualquier evaluación económica.

## Cálculo de la eficiencia

La eficiencia de la caldera, cuando se calcula con el método de equilibrio de calor ASME, incluye pérdidas de gases en la chimenea y pérdidas de radiación y convección. Pero, ¿qué factores tienen el mayor efecto en la eficiencia de la caldera? Como analizamos anteriormente, el diseño básico de la caldera es el factor importante. Sin embargo, queda margen para interpretación cuando se calcula la eficiencia. Los siguientes son factores clave para comprender los cálculos de eficiencia.

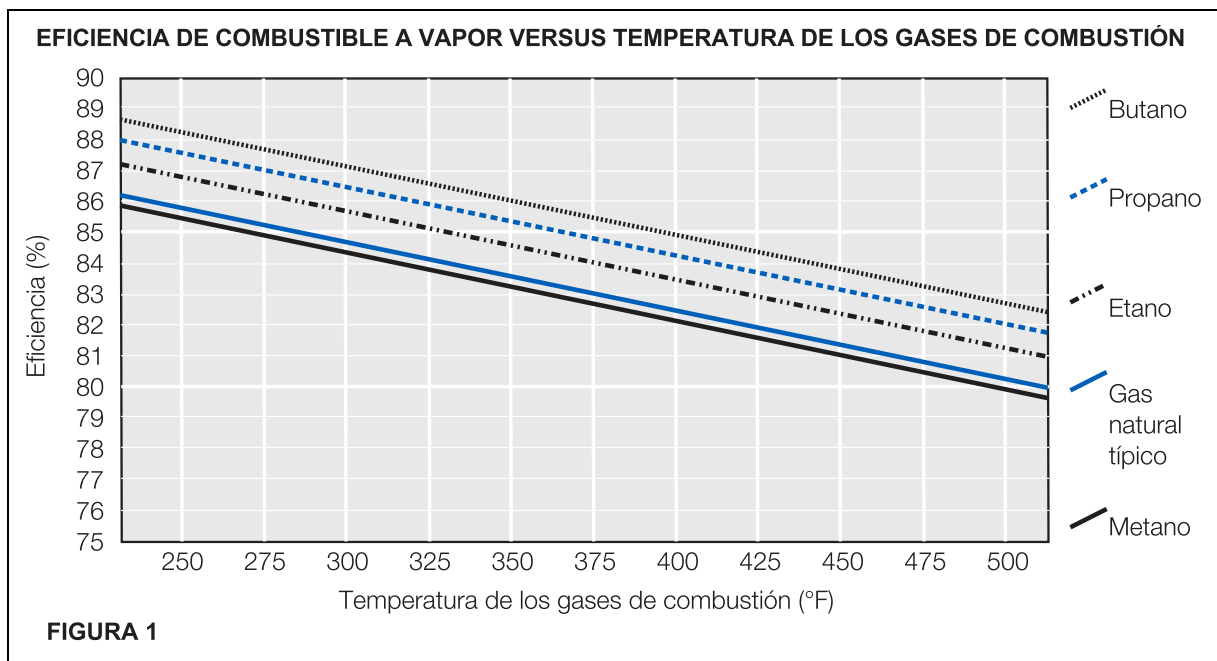
1. Temperatura de los gases de combustión (temperatura de los gases en la chimenea)
2. Especificación de combustible
3. Aire sobrante
4. Temperatura del aire ambiente
5. Pérdidas de radiación y convección

### Temperatura de los gases de combustión

La temperatura de los gases de combustión o la temperatura de los gases en la chimenea es la temperatura de los gases de combustión a medida que salen de la caldera. La temperatura de los gases de combustión debe ser un valor comprobado para que el cálculo de la eficiencia refleje el uso real de combustible de la caldera. Una posible manera de manipular un valor de eficiencia es utilizar una temperatura de los gases de combustión menor que la real en el cálculo. Cuando revise una garantía o cálculo de eficiencia, compruebe la temperatura de los gases de combustión. ¿Es realista? ¿Está cerca o es inferior a la temperatura de saturación del líquido en la caldera? Además, ¿puede el proveedor del equipo remitirlo a un lugar de trabajo existente donde existan estos niveles de temperaturas de gases de combustión? Las condiciones del lugar de trabajo variarán y afectarán la temperatura de los gases de combustión. Sin embargo, si el valor de eficiencia es preciso, las temperaturas de los gases de combustión deberían poder confirmarse en aplicaciones existentes. No se deje engañar por temperaturas de los gases en la chimenea aproximados. Asegúrese de que haya comprobado la temperatura de los gases en la chimenea.

La figura 1 muestra la temperatura de los gases de combustión versus la eficiencia teórica de combustible a vapor. Esta tabla representa la eficiencia teórica máxima que puede lograr a una temperatura de los gases de combustión determinada. La tabla se puede usar de la siguiente manera:

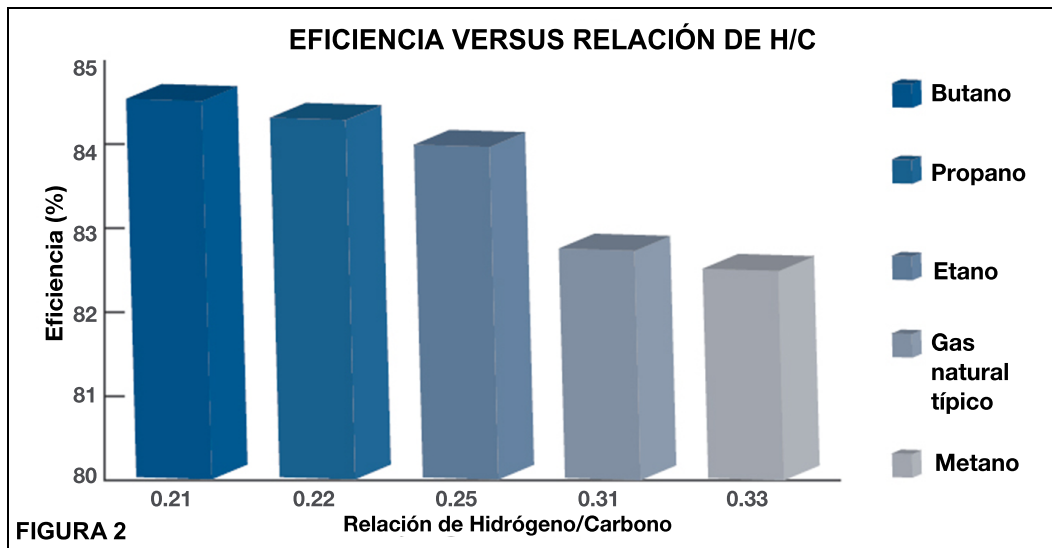
Si se representa que una caldera es 85 % eficiente en el encendido de gas natural, siga el 85 % en la izquierda hasta la línea de gas natural y hacia abajo hasta la temperatura de los gases de combustión. El resultado es aproximadamente 270 °F. Esto muestra que la caldera debería operar a una temperatura de los gases en la chimenea de 270 °F para obtener el 85 % de eficiencia, o el cálculo de eficiencia se basó en un combustible con un contenido bajo de hidrógeno poco realista. Si se representa que una caldera es 85 % eficiente con gas natural a una temperatura de los gases en la chimenea de 350 °F, revise la especificación de combustible. La Figura 1 muestra que una caldera no puede operar al 85 % de eficiencia a una temperatura de los gases en la chimenea de 350 °F cuando enciende gas natural típico.



### Especificación de combustible

La especificación de combustible también puede tener un efecto drástico en la eficiencia. En caso de combustibles gaseosos, mientras más alto el contenido de hidrógeno, más vapor de agua se forma durante la combustión. Este vapor de agua usa energía a medida que cambia de fase en el proceso de combustión. Mientras más vapor de agua se pierda cuando se enciende el combustible, menor es la eficiencia. Este es un motivo porque el aceite combustible se enciende con niveles de eficiencia más altos que el gas natural. Para obtener un cálculo preciso de la eficiencia, se debe usar una especificación de combustible que represente el combustible del lugar de trabajo que se encenderá. Cuando revise una garantía o cálculo de eficiencia, compruebe la especificación de combustible. ¿Representa el combustible que usará en la caldera? La representación de la eficiencia con combustible con bajo contenido de hidrógeno no proporcionará una evaluación precisa del uso real de combustible.

La Figura 2 muestra el grado en el que la especificación de combustible puede afectar la eficiencia. El gráfico indica el efecto de la relación de hidrógeno a carbono en la eficiencia para cinco tipos distintos de combustibles gaseosos. En condiciones idénticas de funcionamiento, las eficiencias pueden variar hasta un 2.5 a 3.0 % basadas únicamente en la relación de hidrógeno a carbono del combustible. Cuando se evalúa la eficiencia de la caldera, es imprescindible conocer la especificación del combustible real. ¿Los cálculos usan el valor más alto de calentamiento (HHV, Higher Heating Value) para el combustible o el valor más bajo de calentamiento (LHV, Lower Heating Value) para el combustible? Hay una diferencia de 10 % entre HHV (1000 Btu/scf) y LHV (903 Btu/scf) para el gas natural. Algunos fabricantes calcularán la eficiencia según el LHV que puede provocar una clasificación de eficiencia 10 % más alta que si se usara HHV. Cuando compare declaraciones de eficiencia, asegúrese de que ambos usen el mismo Btu/scf.



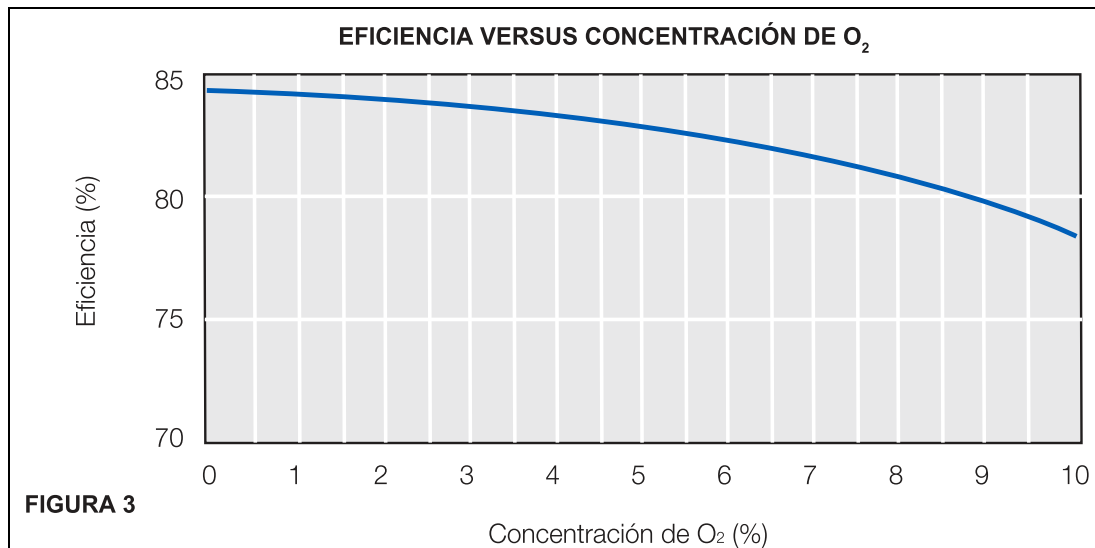
### Aire sobrante

El aire sobrante es el aire que se suministra al quemador además del necesario para completar la combustión del combustible. El aire sobrante se suministra al quemador porque una caldera que encienda sin suficiente aire, o “rica en combustible”, funciona en una condición potencialmente peligrosa. Por lo tanto, el aire sobrante se usa para proporcionar un factor de seguridad sobre el aire teórico necesario para la combustión. En quemadores con emisiones ultra bajas, el aire sobrante también se usa para eliminar la producción de CO y material particulado, y reducir la formación de óxidos de nitrógeno (NOx) a niveles muy bajos mediante el control de la temperatura de la llama. Debido a que la llama calienta el aire sobrante, resta energía de la combustión, con lo que resta energía potencial para la transferencia al agua en la caldera. De esta manera, el aire sobrante reduce la eficiencia de la caldera. Un diseño de calidad permitirá encender a niveles de aire sobrante mínimos del 15 % (3 % como O<sub>2</sub>) para un quemador convencional y 25 % (5 % como O<sub>2</sub>) para el quemador de emisiones ultra bajas.\*

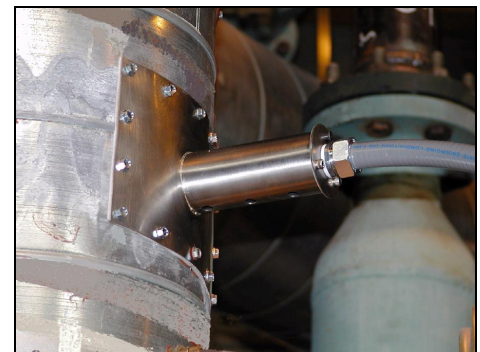
\* O<sub>2</sub> representa el porcentaje de oxígeno en los gases de combustión. El aire sobrante se mide con una muestra del O<sub>2</sub> en los gases de combustión. Si existe un 15 % de aire sobrante, el analizador de oxígeno debería medir el O<sub>2</sub> en el aire sobrante y mostrar una medición de 3 %.

Cuando revise una garantía o cálculo de eficiencia, compruebe los niveles de aire sobrante. Si se usa un 15 % de aire sobrante para calcular la eficiencia, el quemador debería tener un diseño de calidad muy alta con un regulador de tiro repetible y características de conexión articulada. Sin estas características, su caldera no funcionará con los valores bajos de aire sobrante que se usaron para el cálculo, por lo menos no por mucho tiempo. Si se usa menos del 15 % de aire sobrante para el cálculo, probablemente esté basando el uso de combustible en una eficiencia mayor que la que se alcanzaría en el funcionamiento diario. Debería consultar con el proveedor para volver a calcular la eficiencia con valores realistas de aire sobrante.

La Figura 3 muestra la concentración de aire sobrante versus la eficiencia. La tabla se puede usar para revisar el impacto de las variaciones de los valores de aire sobrante en la eficiencia.

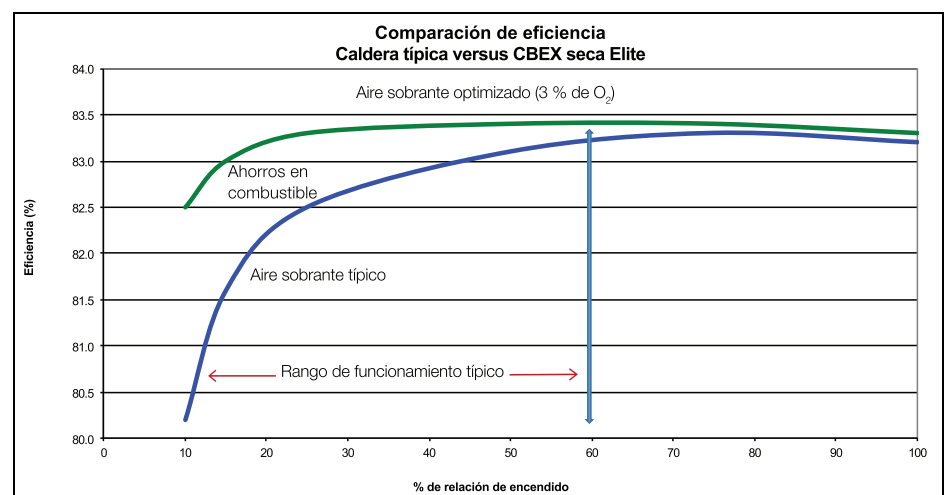


**Aire sobrante y eficiencia de funcionamiento:** Los cambios estacionales en la temperatura y la presión barométrica pueden causar que el aire sobrante en una caldera fluctúe entre 5 % y 10 %. Además, el encendido con niveles bajos de aire sobrante puede provocar un nivel alto de CO y hollín en la caldera, específicamente si el quemador tiene conexiones articuladas complejas y no tiene un diseño adecuado de ventilador. El hecho es que incluso los quemadores teóricamente capaces de funcionar con niveles de aire sobrante inferiores a 15 % rara vez quedan en esa configuración en la práctica real. Un nivel de aire sobrante realista para una caldera en funcionamiento es de 15 % si se debe mantener un factor de seguridad adecuado. Un sistema de resguardo de O<sub>2</sub> permitirá mantener el aire sobrante a niveles especificados, incluso cuando cambie la presión del aire de combustión y la presión barométrica. Esto garantizará que se mantengan los niveles de eficiencia durante todo el año y en todo el rango de funcionamiento.



**Analizador de O<sub>2</sub>**  
(sistema de resguardo de O<sub>2</sub>)

Muchos quemadores no pueden mantener los niveles de aire sobrante a relaciones de encendido más bajas. A medida que disminuye la relación de encendido, aumentan los niveles de aire sobrante y disminuye la eficiencia de la caldera. Los niveles de eficiencia pueden disminuir en 5 % en un quemador con mal diseño. Si la caldera es demasiado grande y funciona con menos del 50 % de relación de encendido por gran parte del año, el aumento del aire sobrante afectará significativamente el consumo de combustible. Cleaver Brooks fabrica varios modelos de caldera y quemadores que mantienen el aire

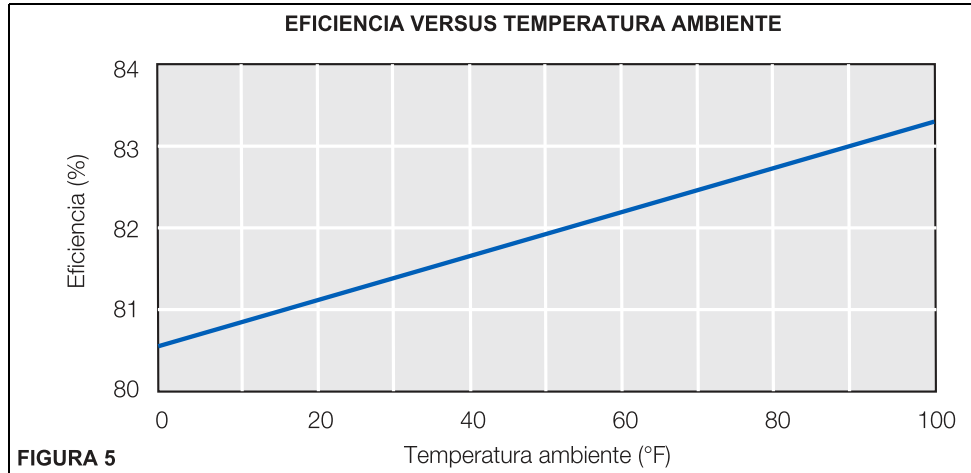


**FIGURA 4**

sobrante al nivel de fuego alto en todo el rango de encendido de fuego bajo a fuego alto. Esto garantiza que se mantenga la eficiencia en el nivel máximo, sin importar la carga. Las hojas de datos de rendimiento de Cleaver Brooks no solo proporcionan datos a carga plena, sino que también datos para 25 %, 50 % y 75 % de carga. Cuando compare niveles de eficiencia, asegúrese de comparar todos los puntos de funcionamiento.

### Temperatura ambiente

La temperatura ambiente puede tener un efecto drástico en la eficiencia de la caldera. Una variación de 40 grados en la temperatura ambiente puede afectar la eficiencia en 1 % o más. La mayoría de las salas de calderas son relativamente tibias. Por lo tanto, la mayoría de los cálculos de eficiencia se basan en temperaturas ambiente de 80 °F. Cuando revise una garantía o cálculo de eficiencia, compruebe las condiciones del aire ambiente que se utiliza. Si se utilizó un valor superior a 80 °F, no es coherente con la práctica de ingeniería estándar. Además, si la caldera estará al aire libre, la eficiencia real será menor debido a menores temperaturas de aire ambiente, sin importar el diseño de la caldera. Para determinar el uso real de combustible, solicite que se calcule la eficiencia en condiciones ambientales más bajas, o use la Figura 5 para calcular el efecto que tendrán los niveles más bajos de aire ambiente en la eficiencia de la caldera.



### Pérdidas de radiación y convección

Las pérdidas de radiación y convección representan las pérdidas de calor que se irradia del recipiente de la caldera. Las calderas están aisladas para minimizar estas pérdidas. Sin embargo, todas las calderas tienen pérdidas de radiación y convección. La eficiencia a veces se representa sin pérdidas de radiación o convección. Esto no es un reflejo real de la eficiencia de la caldera. Las temperaturas superficiales frías en la caldera son una indicación de bajas pérdidas de radiación y convección. De este modo, la construcción y el diseño de la caldera pueden afectar estas pérdidas. Las calderas que funcionan con temperaturas superficiales altas desperdician energía cada vez que se enciende la unidad.

Las pérdidas de radiación y convección también son una función de la velocidad de aire en toda la caldera. Una sala de calderas típica no tiene velocidades altas de viento. Sin embargo, las calderas que funcionan al aire libre tendrán mayores pérdidas de radiación y convección.

La Tabla 1 muestra las pérdidas de radiación y convección esperadas para las calderas humotubulares de cuatro pasos y las calderas CBEX de dos pasos. Ya que las calderas CBEX están optimizadas con hornos grandes y tubos mejorados, los tamaños de la carcasa son generalmente más pequeños y sus pérdidas de radiación y convección son menores.

**Tabla 1: Pérdidas de radiación y convección**

Relación de encendido (% de carga)	Calderas de 4 pasos				Calderas de 2 pasos	
	100 a 350 bhp		400 a 800 bhp		100 a 350 bhp	400 a 2200 bhp
	Presión de func. 10 psig	Presión de func. 125 psig	Presión de func. 10 psig	Presión de func. 125 psig	Presión de func. 125 psig	Presión de func. 125 psig
25	1.6 %	1.9 %	1.0 %	1.2 %	0.95 %	0.60 %
50	0.7 %	1.0 %	0.5 %	0.6 %	0.50 %	0.30 %
75	0.5 %	0.7 %	0.3 %	0.4 %	0.35 %	0.20 %
100	0.4 %	0.5 %	0.2 %	0.3 %	0.25 %	0.15 %

## Eficiencia de funcionamiento

El diseño de la caldera es solo un parámetro que afecta la eficiencia de la caldera. Cómo se opera y mantiene la caldera puede afectar significativamente. Otros parámetros que afectan la eficiencia de la caldera incluyen:

- Temperatura de retorno del agua caliente (calderas de agua caliente)
- Presión del vapor (calderas de vapor)
- Temperatura del agua de alimentación (calderas de vapor)
- Acumulación de sarro y desagüe
- Funcionamiento cíclico de la caldera/Reducción del quemador

### Temperatura de retorno del agua caliente

Como se analizó anteriormente, mientras menor sea la temperatura de los gases en la chimenea, mayor será la eficiencia de la caldera. El recipiente a presión es un intercambiador de calor que transfiere calor de la llama y los gases calientes al agua que rodea los tubos y el horno. Aunque la temperatura de los gases en la chimenea se puede aproximar a la temperatura del agua, nunca puede ser inferior a la temperatura del agua o del vapor saturado. Aunque siempre es mejor una temperatura inferior del agua de retorno, nunca debería ser menor que 160 °F para una caldera humotubular, ya que se producirá condensación y se corroerá la caldera.

### Presión del vapor

De manera similar a una caldera de agua caliente, una caldera de vapor nunca puede tener una temperatura de los gases en la chimenea inferior a la temperatura del vapor saturado. A medida que aumenta la presión del vapor, aumenta la temperatura, de modo que el funcionamiento con la presión de vapor más baja posible provocará una temperatura inferior de los gases en la chimenea para la misma caldera y una mayor eficiencia.

**Tabla 2: Temperatura de los gases en la chimenea**

Presión de funcionamiento psig	Temp. del vapor saturado °F	Rango de temperatura de los gases en la chimenea	
		°F mín.	°F máx.
15	250	280	450
50	298	328	498
80	324	354	524
100	338	368	538
125	353	383	553
150	366	396	566

### Temperatura del agua de alimentación

La temperatura del agua de alimentación no afecta directamente la eficiencia de la caldera; en lugar de esto, afecta la cantidad de vapor que se produce. Mientras más caliente esté el agua, se debe agregar menos calor sensible para aumentar la temperatura a la temperatura del vapor saturado. En lugar de esto, se usa la misma cantidad de energía para producir vapor adicional. Por el contrario, se puede reducir la misma cantidad de vapor con menos combustible.

Un economizador es una manera de aumentar la temperatura del agua de alimentación. El economizador toma el agua de alimentación y la pasa por un intercambiador de calor ubicado en la chimenea de escape. Los gases de escape calientes calientan el agua de alimentación antes de introducirla a la caldera. Un economizador generalmente aumentará la eficiencia de la caldera de 1 % a 3 %.

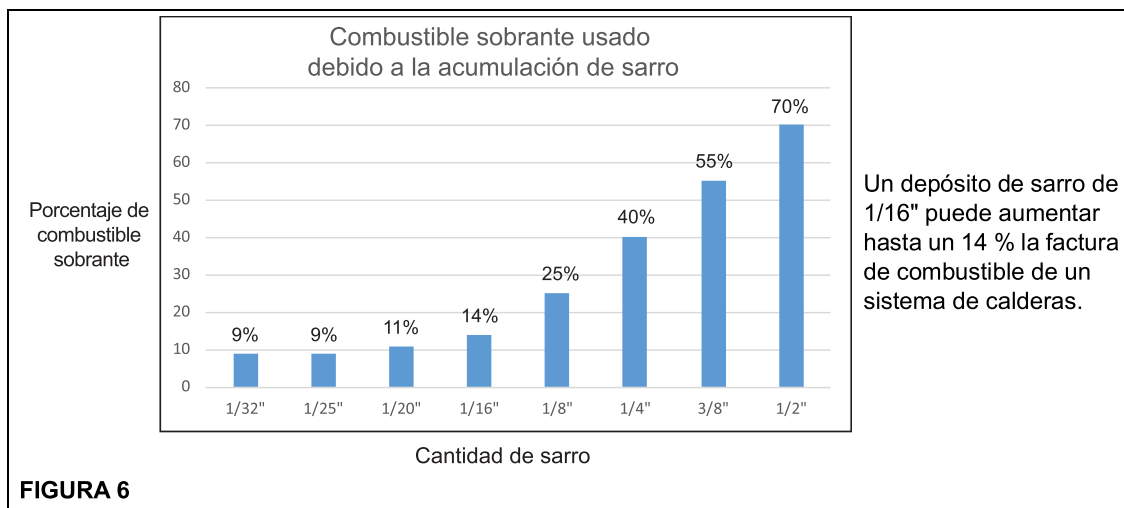


**Economizador**

### Acumulación de sarro y desagüe de la caldera

El sarro se produce cuando el agua de la caldera tiene minerales. Los minerales salen de la solución y recubren los tubos y el horno de la caldera. Este recubrimiento disminuye la transferencia de calor y la eficiencia de la caldera.





## Funcionamiento cíclico de la caldera/Reducción del quemador

Cuando se enciende una caldera, pasa por un ciclo de prepurga y, cuando se apaga, pasa por un ciclo de pospurga. Los códigos exigen ambos ciclos. Durante cada ciclo, el ventilador del quemador funciona a volumen pleno por un período establecido para purgar el combustible que no se ha quemado. A medida que el aire ambiente pasa por el recipiente a presión, recoge el calor del agua y del vapor de la caldera, y se sopla hacia el exterior. Cada vez que el quemador realiza un ciclo, desperdicia 25 Btu/hp por ciclo. Entonces, una caldera de 800 hp desperdiciaría 20,000 Btu/ciclo. Si realiza 10 ciclos por hora, la pérdida será 200,000 Btu, o 4,800,000 Btu en el transcurso del día. El funcionamiento cíclico excesivo no solo desperdicia energía, sino que además estresa la caldera, lo que reduce la vida útil.

Una manera de evitar el funcionamiento cíclico excesivo es determinar el tamaño correcto de la caldera para la carga. Sin embargo, algunas veces la carga puede tener grandes oscilaciones o quizás la caldera tiene el tamaño para una futura carga. Cuando el funcionamiento cíclico excesivo es una preocupación, se deberían especificar calderas con quemadores de reducción alta. Todas las calderas Cleaver-Brooks tienen quemadores que son de al menos 6:1; la mayoría son de 8:1 o 10:1. Un quemador de 10:1 significa que puede modular hasta 10 % de la capacidad plena sin apagarse. Algunos fabricantes solo ofrecen quemadores de 2:1 o encendido/apagado. Estas calderas realizarán ciclo a una relación más alta que las calderas con reducción alta, lo que desperdicia energía.

## Resumen

La selección de una caldera con bajos costos de mantenimiento y alta eficiencia "de diseño" da buenos resultados, ya que ofrece ahorros continuos y maximiza su inversión en la caldera. Recuerde, el costo inicial es una parte relativamente pequeña de su inversión en la caldera.

Una caldera de alta eficiencia es el resultado de criterios específicos de diseño, entre los que se encuentran:

- Compatibilidad de quemador y caldera
- Control repetible de aire y combustible
- Eficacia de la superficie de calentamiento
- Diseño del recipiente a presión

Los cálculos de eficiencia de la caldera que son precisos y representativos del uso real de combustible de la caldera requieren el uso de datos comprobados y verificados, como los siguientes:

- Temperatura comprobada de los gases en la chimenea
- Especificación precisa de combustible
- Niveles reales de aire sobrante de funcionamiento
- Temperatura del aire ambiente
- Pérdidas de radiación y convección

Cuando evalúe la compra de su caldera, pida al proveedor de la caldera que revise el cálculo de eficiencia para verificar que es realista y comprobada. Además, revise el tipo de caldera y quemador que se utilizan para comprobar si el rendimiento de la unidad será constante y repetible. Pagará por el combustible que realmente use, no por el combustible calculado según el cálculo de la eficiencia. Una vez que la caldera esté instalada, no puede retroceder y cambiar la eficiencia de diseño de la unidad.

La información respecto de la eficiencia de la caldera es clara: hay disponibles diseños óptimos de calderas de alta eficiencia. Obtendrá un rendimiento superior con estos diseños premium. Además, se pueden verificar y comprobar los cálculos de eficiencia.

Asegúrese de que los datos de eficiencia que use para la evaluación de su caldera estén garantizados y sean precisos y repetibles durante toda la vida útil del equipo. Asegúrese de que se comprendan los requisitos de combustible de la caldera antes de comprarla.

Al final, el tiempo que pase evaluando la eficiencia valdrá el esfuerzo. Insistir en una caldera humotubular de alta eficiencia y diseño repetible dará sus frutos cada vez que encienda su nueva caldera, durante toda la vida útil del equipo.

## Ejemplos de eficiencia de la caldera

Las siguientes páginas están diseñadas para ayudarlo a calcular y comparar los costos de combustible de la caldera.

Las tablas y figuras se pueden usar de dos maneras: para determinar la eficiencia de una caldera humotubular basado en la temperatura conocida de los gases en la chimenea, o para comparar los costos de combustible de las calderas humotubulares que funcionan con distintas eficiencias.

### Eficiencia basada en la temperatura de los gases en la chimenea

1. Determine la temperatura de los gases en la chimenea de la caldera. Asegúrese de que haya comprobado la temperatura de los gases en la chimenea y esta sea precisa.
2. Determine el nivel de CO<sub>2</sub> de la caldera. (Si hay aire sobrante como O<sub>2</sub> disponible, el O<sub>2</sub> se puede convertir en CO<sub>2</sub> con la Figura 7).
3. Determine la temperatura del aire ambiente en la sala de calderas.
4. Reste la temperatura del aire ambiente de la temperatura de los gases en la chimenea para determinar la temperatura neta y el CO<sub>2</sub>.
5. Use las Tablas 3, 4 y 5 para determinar la pérdida de gases en la chimenea según la temperatura neta.
6. Sume las pérdidas de radiación y convección de la Tabla 1. (Nota: las pérdidas de radiación y convección en la tabla se basan en las calderas humotubulares de 4 pasos modelo CB). Las pérdidas de radiación y convección de equipos de la competencia pueden ser mayores).
7. Reste las pérdidas de gases en la chimenea y las pérdidas de radiación y convección de 100 para obtener la eficiencia de combustible a vapor.

#### EJEMPLO

Asumamos una caldera CB de 100 HP, de diseño de 15 lb, encendida con gas a 100 % del valor nominal. La temperatura de los gases en la chimenea es de 320 °F y la temperatura de la sala es de 80 °F. ( $320 - 80 = 240$ )

Mide 10 % de CO<sub>2</sub> sin CO.

En la tabla, a 240 °F y 10 % de CO<sub>2</sub>, obtiene una pérdida de gases en la chimenea de 15.2 % (consulte la Tabla 4).

Sume 0.4 % para las pérdidas de radiación y convección (para una caldera CB, consulte las Tablas 1 y 2).

$15.2 \% \text{ más } 0.4 \% = 15.6 \%$

$100 - 15.6 = 84.4 \% \text{ de eficiencia de combustible a vapor.}$

### Comparación de costos de combustible de calderas con distintas eficiencias

1. Determine la eficiencia de combustible a vapor de las calderas. Las eficiencias de CB se muestran en las Tablas 9, 10 y 11. (Si no conoce la eficiencia del equipo existente o de los equipos de la competencia, se puede calcular con el procedimiento anterior según la temperatura de los gases en la chimenea).
2. Seleccione las relaciones de encendido de combustible basadas en la eficiencia, de acuerdo con las Tablas 6, 7 y 8.
3. Determine el uso de combustible anual según las horas de funcionamiento anuales.
4. Determine el costo del combustible usado.
5. Calcule el consumo anual de combustible y el costo anual resultante para cada caldera. Compare los resultados para determinar los ahorros.
6. Para determinar el rendimiento aproximado de la inversión en años, divida la diferencia de costo del equipo por los ahorros en costos de combustible.
7. Para obtener el cálculo más preciso de ahorro en combustible y rendimiento de la inversión, también evalúe cada caldera con rendimiento a carga parcial. Calcule las horas por año que se espera que la caldera funcione en cada relación de encendido (25 %, 50 %, 75 %, 100 % fuego alto). Con el mismo procedimiento, calcule el uso de combustible en cada relación de encendido, con las horas estimadas de funcionamiento para cada relación de encendido, y reemplace la eficiencia de la caldera respectiva. Sume los resultados de cada caldera para determinar el uso anual de combustible y el costo de combustible.

#### EJEMPLO

Evalúa tres cotizaciones, donde cada una propone una caldera de vapor de diseño de 150 lb de 400 BHP que queme aceite N.º 2 o gas natural y funcione a 125 PSIG. El costo cotizado, que incluye flete, etc., es de \$100,000 para Cleaver-Brooks, \$91,000 para la alternativa n.º 1 y \$86,000 para la alternativa n.º 2.

La documentación para ambas alternativas garantiza 82 % de eficiencia con el encendido de aceite n.º 2. La garantía FTSE de Cleaver-Brooks es de 85.5 % al 100 % de carga (según la Tabla 8).

$$\text{Salida de 400 BHP} \times 33,475 \text{ Btu/BHP} = 13,390,000 \text{ Btu/h}$$

$$\text{Aceite n.º 2} = 140,000 \text{ Btu/galón} = \$2.08/\text{galón}$$

$$\text{Entrada de combustible} = 13,390,000 \text{ Btu/h} = 16,329,268 \text{ a } 82 \% = 15,660,819 \text{ a } 85.5 \% \text{ de eficiencia}$$

$$\text{Entrada, galones} = \frac{\text{Entrada de combustible (Btu/h)}}{140,000 \text{ Btu/galón}} = 116.6 \text{ gal/h} = 111.8 \text{ gal/h}$$

Asumamos un funcionamiento de 4000 horas/año a 100 % de carga:

$$116.6 \text{ gal/h} \times 4000 \text{ horas/año} \times \$2.08/\text{gal} = \$970,112/\text{año a } 82 \%$$

$$111.8 \text{ gal/h} \times 4000 \text{ horas/año} \times \$2.08/\text{gal} = \$930,176/\text{año a } 85.5 \%$$

**\$40,036/año de ahorro con Cleaver-Brooks**

Costos adicionales para equipos CB	Rendimiento si funciona 4000 h/año	Rendimiento si funciona 3000 h/año	Rendimiento si funciona 2000 h/año
\$9,000 vs. alternativa n.º 1	0.22 años (2.7 meses)	0.3 años (3.6 meses)	0.45 años (5.4 meses)
\$14,000 vs. alternativa n.º 2	0.35 años (4.2 meses)	0.46 años (5.6 meses)	0.7 años (8.4 meses)

**Conclusión: ¡El costo inicial puede ser engañoso! Compre la caldera más eficiente.**

## Eficiencia versus costo de combustible

Si selecciona una caldera debido a un costo inicial bajo, y esta unidad es MENOS EFICIENTE que la caldera de mayor precio, PAGARÁ la diferencia varias veces durante la vida útil de esa caldera.

NOTA: El aumento porcentual en costos de combustible es mayor que la disminución porcentual nominal en la eficiencia de combustible a vapor. Por ejemplo:

Una caída del 3 % en la eficiencia aumenta el costo de combustible en 3.8 % (85 % vs. 82 %)

Una caída del 5 % en la eficiencia aumenta el costo de combustible en 6.3 % (85 % vs. 80 %)

Una caída del 7.5 % en la eficiencia aumenta el costo de combustible en 9.7 % (85 % vs. 77.5 %)

Una caída del 10 % en la eficiencia aumenta el costo de combustible en 13.5 % (85 % vs. 75 %)

¿Cómo se comprueba esto?

Una unidad de 200 hp tiene una salida de 6,700,000 Btu/h.

Asumamos un aceite n.º 6 a 150,000 BTU/gal.

	Caldera "X"	Caldera CB
Eficiencia de combustible a vapor =	80 %	85 %
Salida ÷ Efic. = Entrada =	8,375,000 Btu/h	7,882,000 Btu/h
Entrada – gal/h =	55.8	52.5

$$55.8/52.5 = 6.3 \text{ \% de aumento en uso de combustible}$$

6.3 % de aumento en costo de combustible

debido a la disminución del 5 % en la eficiencia de combustible a vapor.

## Mantenimiento versus costo de combustible

Un buen programa de mantenimiento consta de una inspección de rutina y limpieza es fundamental para mantener la eficiencia de cualquier caldera, y puede ser muy útil para mantener bajos los costos de combustible.

Por ejemplo, la acumulación de hollín dentro de tubos de un grosor menor que 1/32 de pulgada puede reducir la eficiencia de la caldera en hasta 12 %. Como se mencionó en el ejemplo anterior, eso puede provocar más de 15 % de uso adicional de combustible.

Mantenga un registro diario de la temperatura de los gases de combustión de la caldera para detectar posibles problemas de manera temprana; una tendencia ascendente en la temperatura de los gases en la chimenea puede indicar que se debe limpiar o ajustar la caldera. Las inspecciones de rutina y el mantenimiento preventivo se pagarán solos en términos de mantener la eficiencia de la caldera y disminuir los costos de mantenimiento.



## COMPARACIÓN DE COSTOS DE COMBUSTIBLE DE FUNCIONAMIENTO

Nombre del trabajo \_\_\_\_\_

Ubicación \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

### INFORMACIÓN SOBRE LA CALDERA:

(1) Tamaño \_\_\_\_\_ bhp Presión de func. \_\_\_\_\_ psig Combustible \_\_\_\_\_ Gas  
\_\_\_\_\_ Aceite

(2) Horas de func./año \_\_\_\_\_ horas a \_\_\_\_\_ % del valor nominal

(3) Costo de combustible Gas \_\_\_\_\_ \$/termia Aceite \_\_\_\_\_ \$/gal

### EFICIENCIA DE COMBUSTIBLE A VAPOR:

	Gas	Aceite n.º 2	Aceite n.º 6
Cleaver-Brooks, garantizada	_____ %	_____ %	_____ %
Otro fabricante (estimada)	_____ %	_____ %	_____ %
Ahorros nominales	_____ %	_____ %	_____ %

### COMPARACIÓN:

	Gas	Aceite n.º 2	Aceite n.º 6
Otra caldera	_____ gph	_____ gph	_____ termias/h
Cleaver-Brooks	_____ gph	_____ gph	_____ termias/h
Ahorros	_____ gph	_____ gph	_____ termias/h

### AHORRO ANUAL DE COMBUSTIBLE CON CLEAVER-BROOKS

#### Combustible gaseoso

\_\_\_\_\_ termias/h x \_\_\_\_\_ h/año = \_\_\_\_\_ termias/año ahorradas  
\_\_\_\_\_ termias/año x \$ \_\_\_\_\_ /termia = \$ \_\_\_\_\_ /año ahorrados

#### Aceite combustible

\_\_\_\_\_ gph x \_\_\_\_\_ h/año = \_\_\_\_\_ gal/año ahorrados  
\_\_\_\_\_ gal/año x \$ \_\_\_\_\_ /gal = \$ \_\_\_\_\_ /año ahorrados

# TABLA DE CONVERSIÓN DE CO2 A O2

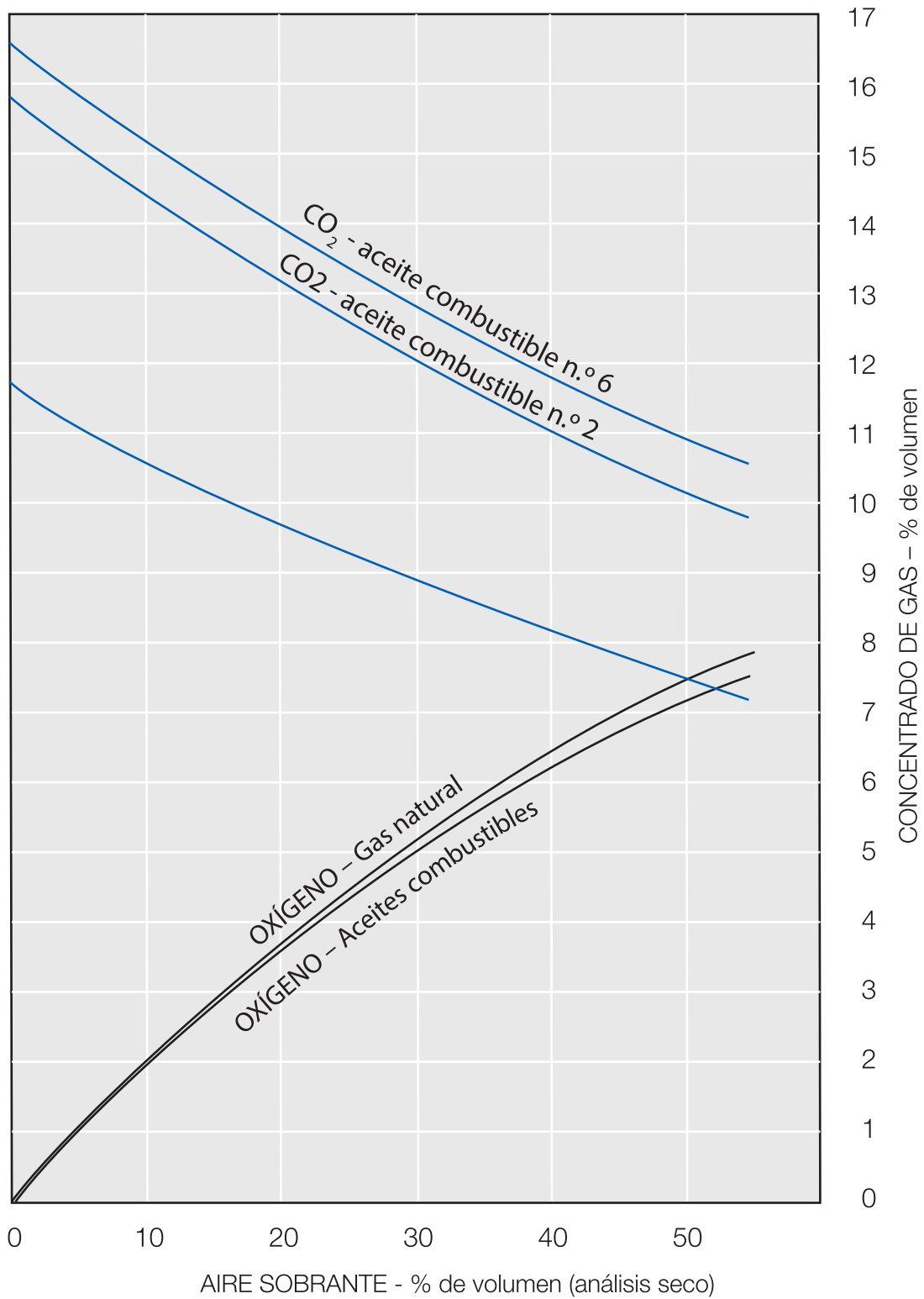


FIGURA 7

## Controles de caldera versus costo de combustible

Utilizar lo más reciente en controles digitales avanzados de caldera puede sumar ahorros adicionales en costos de funcionamiento cada año. Aunque los controles avanzados en sí no pueden mejorar la eficiencia real de la caldera, mantienen la caldera funcionando a la máxima eficiencia día tras día. Los controles avanzados pueden ajustar automáticamente el funcionamiento de la caldera para adaptarse a cambios en condiciones ambientales y la carga de la caldera. Con altos costos de combustible y electricidad, estos ajustes menores pueden llevar a ahorros medibles, como se muestra en el ejemplo a continuación.

### EJEMPLO

Considere la misma caldera de diseño de 150 lb, 400 BHP que enciende con gas natural. La caldera funciona durante 5500 horas por año con el siguiente perfil:

1000 horas por año = 20 % de carga  
1500 horas por año = 40 % de carga  
1500 horas por año = 60 % de carga  
1000 horas por año = 80 % de carga  
500 horas por año = 100 % de carga

El costo de gas natural es de \$0.83/termia, mientras que el costo de electricidad es de \$0.09/KWh.

En estas condiciones, el costo calculado anual de combustible es de \$600,585/año y el costo calculado anual de electricidad es de \$3,898/año.

Con la adición del resguardo de O<sub>2</sub>, el costo calculado de combustible cae a \$593,641/año, para un ahorro proyectado de \$6944/año, o 1 % de la factura anual de combustible.

Con la adición de una transmisión de velocidad variable en el motor del soplador, el costo de electricidad cae a \$1,365/año, para un ahorro proyectado de \$2,533/año, o una reducción de 65 %. La mayoría de los ahorros ocurre durante el funcionamiento a carga parcial.

**Tabla 3: % DE PÉRDIDA DE LOS GASES EN LA CHIMENEA - GAS NATURAL**

%	DIFERENCIA ENTREE GASES DE COMBUSTION Y TEMPERATURA AMBIENTE EN GRADOS FAHRENHEIT																															
	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000
CO2	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0	38.0	40.0	42.0	44.0	46.0	48.0	50.0	52.0	54.0	56.0	58.0	60.0	62.0	64.0	66.0	68.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0
3.0	23.1	24.4	25.9	27.2	28.6	30.0	31.3	32.8	34.1	35.8	36.9	38.2	39.8	41.0	42.2	43.8	45.0	46.3	47.8	49.0	50.0											
3.5	21.2	22.5	23.8	24.9	26.1	27.2	28.4	29.6	30.9	32.0	33.2	34.4	35.8	36.8	37.9	39.2	40.3	41.6	42.8	43.8	45.0	46.2	47.7	48.3	49.8							
4.0	19.9	20.9	22.0	23.1	24.1	25.1	26.2	27.2	28.3	29.4	30.4	31.8	32.5	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8	38.8	39.9	40.9	42.1	43.0	44.1	45.2	46.2	48.8					
4.5	18.9	19.9	20.9	21.8	22.7	23.6	24.5	25.5	26.4	27.3	28.3	29.2	30.2	31.2	32.2	33.0	34.0	34.9	35.9	36.8	37.8	38.6	39.8	40.4	41.5	42.6	44.8	47.2	49.8			
5.0	18.0	18.9	19.8	20.6	21.4	22.2	23.1	24.0	24.9	25.8	26.8	27.5	28.3	29.1	30.1	30.9	31.8	32.5	33.6	34.3	35.7	36.2	36.9	37.8	38.8	39.7	41.8	43.8	46.0	48.2		
5.5	17.4	18.1	18.9	19.8	20.5	21.2	22.1	22.9	23.8	24.5	25.2	26.2	26.9	27.8	28.5	29.2	30.0	30.8	31.8	32.3	33.2	34.1	34.9	35.8	36.3	37.3	39.2	41.0	43.0	45.3	47.2	49.0
6.0	16.8	17.4	18.2	18.9	19.6	20.4	21.1	21.8	22.7	23.3	24.1	24.9	25.5	26.2	27.0	27.8	28.4	29.2	30.0	30.8	31.5	32.2	32.9	33.8	34.3	35.2	36.8	38.8	40.4	42.5	44.3	46.2
6.5	16.3	16.9	17.6	18.4	19.0	19.8	20.4	21.1	21.8	22.4	23.2	23.8	24.5	25.2	25.9	26.5	27.2	27.9	28.7	29.2	30.0	30.9	31.4	32.1	32.8	33.5	34.6	36.8	38.4	40.3	42.0	43.8
7.0	15.8	16.5	17.1	17.8	18.4	19.1	19.8	20.4	21.0	21.8	22.3	22.9	23.6	24.2	24.9	25.5	26.2	26.8	27.4	28.0	28.8	29.4	30.0	30.8	31.2	32.0	33.8	35.3	36.8	38.3	40.0	41.8
7.5	15.5	16.1	16.7	17.2	17.9	18.5	19.1	19.8	20.3	20.9	21.5	22.2	22.8	23.3	24.0	24.6	25.2	25.8	26.4	26.9	27.7	28.2	28.8	29.4	30.1	30.8	32.2	33.8	35.2	36.8	38.3	39.9
8.0	15.2	15.7	16.3	16.9	17.4	18.0	18.6	19.2	19.8	20.3	20.9	21.5	22.1	22.8	23.2	23.8	24.4	25.0	25.5	26.0	26.7	27.2	27.8	28.4	29.0	29.5	31.0	32.4	33.8	35.4	36.8	38.2
8.5	14.9	15.4	15.9	16.5	17.1	17.6	18.2	18.7	19.3	19.8	20.4	20.9	21.4	22.0	22.5	23.1	23.7	24.2	24.8	25.3	25.8	26.4	26.9	27.4	28.1	28.6	29.9	31.3	32.8	34.2	35.4	36.8
9.0	14.6	15.2	15.7	16.2	16.6	17.2	17.8	18.3	18.8	19.3	19.9	20.4	20.9	21.4	21.9	22.5	23.0	23.5	24.1	24.5	25.2	25.8	26.2	26.7	27.2	27.8	29.0	30.3	31.8	33.0	34.3	35.7
9.5	14.4	14.9	15.4	15.9	16.4	16.9	17.4	17.9	18.4	18.9	19.5	19.9	20.5	20.9	21.4	21.9	22.4	22.9	23.4	23.8	24.4	24.9	25.4	25.9	26.4	26.9	28.2	29.4	30.8	32.0	33.3	34.5
10	14.2	14.6	15.2	15.6	16.1	16.6	17.1	17.5	18.1	18.5	19.0	19.5	20.0	20.4	20.8	21.4	21.8	22.4	22.8	23.3	23.8	24.2	24.8	25.2	25.8	26.2	27.4	28.6	29.8	31.2	32.2	33.4
11	14.4	14.7	15.2	15.6	16.1	16.5	16.9	17.4	17.8	18.4	18.8	19.3	19.6	20.2	20.5	20.9	21.4	21.9	22.3	22.8	23.2	23.7	24.2	24.6	25.0	26.2	27.2	28.3	29.5	30.8	31.8	
12		14.4	14.8	15.2	15.6	16.1	16.5	16.9	17.3	17.8	18.2	18.6	19.0	19.4	19.8	20.2	20.6	21.1	21.4	21.9	22.3	22.8	23.2	23.6	24.0	25.1	26.1	27.2	28.3	29.2	30.3	

**Tabla 4: % DE PÉRDIDA DE LOS GASES EN LA CHIMENEA - ACEITE N.º 2**

%	DIFERENCIA ENTREE GASES DE COMBUSTION Y TEMPERATURA AMBIENTE EN GRADOS FAHRENHEIT																															
	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000
CO2	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0	38.0	40.0	42.0	44.0	46.0	48.0	50.0	52.0	54.0	56.0	58.0	60.0	62.0	64.0	66.0	68.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0
3.0	24.1	25.8	27.7	29.3	31.3	33.9	34.8	36.4	38.2	40.0	42.9	44.8	45.5	47.0	49.0	50.8	52.4	54.3	56.0	57.9	59.6	61.5	63.5	65.0	66.8	68.8						
3.5	21.7	23.1	24.8	26.2	27.8	29.2	31.7	32.5	33.9	35.3	36.9	38.5	40.0	41.7	43.1	44.8	46.1	47.8	49.4	50.9	52.2	53.9	55.7	57.0	58.3	60.0	63.8	67.8				
4.0	19.9	21.2	22.5	24.9	25.2	26.5	27.9	29.2	31.7	32.0	33.3	35.8	36.0	37.3	38.7	40.0	41.4	42.9	44.1	45.5	46.9	48.1	49.8	50.9	52.1	53.8	57.0	60.2	63.9	67.1		
4.5	18.4	19.7	20.8	22.0	23.2	24.4	25.6	26.9	28.0	29.3	30.4	31.8	32.9	34.2	35.6	36.7	37.8	39.0	40.1	41.2	42.5	43.8	45.0	46.3	47.4	48.8	51.8	54.6	57.8	60.9	63.9	66.9
5.0	17.2	18.5	19.5	20.7	21.7	22.7	23.8	24.9	26.0	27.1	28.2	29.4	30.3	31.5	32.7	33.8	34.9	35.9	36.8	38.0	39.2	40.1	41.7	42.4	43.7	44.7	47.4	50.1	52.9	55.8	58.3	61.2
5.5	16.3	17.4	18.4	19.4	20.4	21.3	22.3	23.3	24.3	25.4	26.3	27.3	28.4	29.4	30.6	31.4	32.4	33.6	34.5	35.3	36.4	37.4	38.4	39.6	40.3	41.7	44.0	46.5	49.0	51.8	54.1	56.5
6.0	15.6	16.5	17.4	18.3	19.3	20.4	21.2	22.0	23.0	23.9	24.9	25.8	26.8	27.7	28.6	29.5	30.4	31.4	32.3	33.1	34.2	35.0	36.0	36.9	37.9	38.9	41.0	43.5	45.8	48.0	50.3	52.8
6.5	14.9	15.7	16.7	17.5	18.4	19.3	20.1	20.9	21.8	22.7	23.6	24.5	25.3	26.1	27.0	27.8	28.8	29.6	30.6	31.3	32.3	33.0	34.1	34.8	35.7	36.5	38.7	40.8	42.9	45.1	47.5	49.7
7.0	14.4	15.3	16.0	16.8	17.8	18.4	19.3	20.1	20.9	21.7	22.4	23.2	24.1	24.9	25.7	26.5	27.3	28.1	28.9	29.8	30.5	31.4	32.3	33.0	33.8	34.6	36.5	38.6	40.5	42.7	44.7	46.6
7.5	13.9	14.6	15.4	16.2	16.9	17.7	18.5	19.2	20.1	20.7	21.3	22.2	23.0	23.8	24.5	25.2	26.0	26.8	27.5	28.2	29.0	29.8	30.6	31.3	32.2	32.9	34.8	36.5	38.5	40.3	42.3	44.2
8.0	13.5	14.3	14.9	15.7	16.3	17.1	17.7	18.5	19.3	20.0	20.7	21.4	22.1	22.8	23.5	24.2	25.0	25.7	26.3	27.0	27.8	28.5	29.2	30.0	30.8	31.5	33.2	35.0	36.8	38.5	40.2	42.1
8.5	13.2	13.8	14.5	15.2	15.8	16.5	17.3	17.8	18.6	19.3	20.0	20.6	21.3	21.9	22.6	23.3	23.9	24.6	25.3	25.9	26.7	27.3	28.0	28.8	29.4	30.1	31.8	33.5	35.2	36.9	38.7	40.2
9.0	12.8	13.4	14.1	14.7	15.4	16.0	16.7	17.3	17.9	18.6	19.3	20.0	20.6	21.2	21.8	22.4	23.1	23.8	24.4	25.0	25.7	26.3	27.0	27.7	28.3	28.9	30.5	32.1	33.8	35.3	37.0	38.5
9.5	12.5	13.2	13.7	14.3	14.9	15.7	16.3	16.8	17.4	18.1	18.6	19.3	19.9	20.5	21.1	21.7	22.4	22.9	23.5	24.1	24.8	25.4	26.0	26.7	27.2	27.9	29.4	31.0	32.5	34.0	35.5	37.2
10	12.3	12.8	13.4	14.0	14.6	15.2	15.7	16.3	16.9	17.5	18.1	18.7	19.3	20.0	20.5	21.0	21.6	22.2	22.8	23.4	24.0	24.6	25.1	25.8	26.3	27.0	28.3	29.9	31.4	32.9	34.4	35.7
11	11.8	12.4	12.8	13.4	13.9	14.5	15.0	15.5	16.2	16.7	17.2	17.8	18.3	18.7	19.4	20.0	20.5	20.9	21.5	22.0	22.6	23.1	23.7	24.2	24.8	25.3	26.7	28.0	29.4	31.8	32.1	33.5
12	11.4	11.8	12.5	12.9	13.4	13.9	14.4	14.9	15.4	15.9	16.4	16.9	17.4	17.9	18.4	18.9	19.5	20.0	20.5	20.9	21.4	22.9	22.4	22.9	23.5	24.0	25.2	26.5	27.8	29.0	30.2	31.7
13	11.2	11.6	12.1	12.5	12.9	13.4	13.9	14.3	14.7	15.3	15.8	16.3	16.7	17.2	17.7	18.1	18.6	19.1	19.6	20.1	20.5	21.1	21.3	21.8	22.3	22.8	24.0	25.2	26.3	27.5	28.8	30.0
14	11.3	11.8	12.2	12.6	13.0	13.4	13.8	14.3	14.8	15.3	15.8	16.2	16.5	16.9	17.4	17.8	18.3	18.7	19.2	19.7	20.2	20.6	21.0	21.4	21.8	22.9	24.1	25.2	26.2	27.4	28.6	
15		11.4	11.7	12.4	12.6	13.1	13.5	13.8	14.3	14.8	15.3	15.6	15.9	16.4	16.7	17.3	17.7	18.1	18.4	18.9	19.4	19.8	20.3	20.6	21.0	22.0	23.1	24.2	25.2	26.2	27.3	

**Tabla 5: % DE PÉRDIDA DE LOS GASES EN LA CHIMENEA - ACEITE N.º 6**

%	DIFERENCIA ENTREE GASES DE COMBUSTIÓN Y TEMPERATURA AMBIENTE EN GRADOS FAHRENHEIT																																		
	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000			
CO2	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0	38.0	40.0	42.0	44.0	46.0	48.0	50.0	52.0	54.0	56.0	58.0	60.0	62.0	64.0	66.0	68.0	70.0									
3.0	24.5	26.5	28.5	30.2	32.2	34.5	36.5	38.2	40.4	42.2	44.4	46.4	48.2	50.0	52.3	54.3	56.3	58.2	60.3	62.0	64.1	66.2	68.1	70.1											
3.5	21.8	23.4	25.2	26.8	28.6	30.4	32.1	33.8	35.5	37.4	39.0	40.6	42.2	44.0	45.6	47.5	49.2	51.0	49.4	50.9	52.2	53.9	55.7	57.0	58.3	60.0	63.8	67.8							
4.0	19.8	21.2	22.8	24.2	25.7	27.3	28.8	30.2	31.6	32.5	34.8	36.3	37.8	39.4	40.8	42.2	43.8	45.1	46.9	48.2	49.8	51.2	52.9	54.2	56.0	57.8	61.1	65.0	68.9						
4.5	18.2	19.4	20.8	22.2	23.5	24.8	26.2	27.4	28.8	30.4	31.5	33.0	34.2	35.4	37.0	38.1	39.4	41.0	42.2	43.5	45.0	46.3	47.9	49.0	50.1	51.9	55.0	58.2	61.8	65.1	68.5				
5.0	16.8	18.0	19.3	20.4	21.7	22.8	23.2	25.3	26.6	27.8	29.0	30.3	31.4	32.6	33.8	35.3	36.2	37.5	38.8	39.8	41.0	42.3	43.8	44.9	46.1	47.5	50.1	53.6	56.3	59.8	62.3	65.8			
5.5	15.8	16.8	18.0	19.2	20.3	21.3	22.5	23.5	24.6	25.8	26.9	28.0	29.2	30.2	31.4	32.5	33.5	34.7	35.8	37.0	37.9	39.2	40.1	41.3	42.3	43.8	46.1	49.1	52.0	54.7	57.8	60.1			
6.0	14.8	15.8	16.9	18.0	19.0	20.0	21.1	22.0	23.1	24.2	25.2	26.3	27.3	28.2	29.3	30.3	31.3	32.3	33.5	34.3	35.3	36.5	37.5	38.3	39.7	40.5	43.0	45.8	48.2	50.9	53.5	56.0			
6.5	14.3	15.2	16.1	17.1	18.0	18.9	19.9	20.8	21.8	22.8	23.7	24.6	25.5	26.5	27.5	28.5	29.4	30.4	31.4	32.3	33.4	34.3	35.1	36.1	37.1	38.0	40.2	42.8	45.1	47.6	49.9	52.1			
7.0	13.5	14.4	15.3	16.2	17.1	17.9	18.8	19.7	20.6	21.5	22.4	23.3	24.2	25.0	25.8	26.8	27.7	28.6	29.0	30.2	31.2	32.2	33.0	33.9	34.9	35.8	37.9	40.1	42.1	44.4	46.8	49.0			
7.5	13.0	13.8	14.6	15.5	16.3	17.3	18.0	18.8	19.7	20.5	21.4	22.2	22.9	23.7	24.6	25.4	26.3	27.2	27.9	28.8	29.6	30.5	31.2	32.1	33.0	34.9	35.9	37.9	40.0	42.0	44.1	46.1			
8.0	12.5	13.3	14.1	14.8	15.7	16.4	17.3	18.0	18.8	19.6	20.4	21.2	21.9	22.7	23.5	24.2	25.0	25.8	26.6	27.4	28.2	29.0	29.9	30.6	31.5	32.1	34.1	36.0	38.0	40.0	41.9	43.9			
8.5	12.2	12.8	13.6	14.4	15.1	15.7	16.6	17.3	18.0	18.7	19.6	20.3	21.0	21.6	22.5	23.3	23.9	24.7	25.5	26.2	26.8	27.6	28.2	29.1	29.9	30.8	32.6	34.2	36.2	38.0	39.9	41.8			
9.0	11.7	12.4	13.2	13.8	14.6	15.3	15.9	16.6	17.4	18.1	18.8	19.5	20.2	20.8	21.6	22.3	22.9	23.7	24.4	25.0	25.7	26.5	27.1	27.9	28.7	29.4	31.1	32.9	34.6	36.3	38.0	39.9			
9.5	11.4	12.1	12.7	13.4	14.1	14.7	15.4	16.0	16.7	17.5	18.1	18.7	19.4	20.0	20.7	21.4	22.1	22.8	23.5	24.0	24.7	25.4	26.1	26.8	27.5	28.1	29.8	31.2	33.2	34.9	36.4	38.1			
10	11.2	11.7	12.3	13.0	13.7	14.4	14.8	15.5	16.2	16.8	17.5	18.2	18.7	19.4	20.0	20.6	21.3	21.9	22.6	23.2	23.8	24.5	25.1	25.8	26.4	27.0	28.7	30.1	31.8	33.5	35.0	36.7			
11	10.6	11.3	11.8	12.4	12.9	13.5	14.2	14.7	15.3	15.8	16.5	17.0	17.6	18.2	18.8	19.4	20.0	20.6	21.2	21.7	22.3	22.9	23.5	24.1	24.8	25.2	26.8	28.1	29.8	31.2	32.5	34.1			
12	10.2	10.7	11.3	11.7	12.3	12.8	13.4	13.8	14.5	15.1	15.6	16.2	16.7	17.2	17.8	18.3	18.8	19.4	19.9	20.4	21.0	21.6	22.1	22.7	23.1	23.8	25.0	26.4	27.9	29.1	30.5	31.9			
13		10.3	10.8	11.3	11.8	12.3	12.8	13.3	13.8	14.4	14.8	15.4	15.8	16.3	16.8	17.3	17.9	18.4	18.9	19.3	19.8	20.4	20.9	21.4	21.9	22.4	23.8	24.9	26.2	27.5	28.9	30.0			
14		9.8	10.4	10.8	11.4	11.8	12.3	12.8	13.3	13.7	14.3	14.7	15.2	15.6	16.2	16.6	17.1	17.5	18.0	18.5	18.8	19.4	19.9	20.4	20.9	21.2	22.5	23.7	24.9	26.1	27.2	28.5			
15			10.2	10.6	11.0	11.4	11.8	12.4	12.7	13.3	13.7	14.2	14.6	15.0	15.4	15.8	16.4	16.8	17.3	17.7	18.2	18.6	19.0	19.5	19.9	20.3	21.5	22.6	23.8	24.9	25.9	27.1			
16				10.3	10.7	11.1	11.5	11.8	12.3	12.8	13.3	13.7	14.0	14.4	14.8	15.3	15.7	16.2	16.6	16.9	17.4	17.9	18.2	18.8	19.1	19.5	20.6	21.6	22.7	23.8	24.8	25.9			

**Tabla 6: RELACIONES DE ENCENDIDO DE COMBUSTIBLE GAS NATURAL (TERMIAS/H) A DISTINTAS EFICIENCIAS**

bhp	Eficiencia de agua a vapor																
	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
100	55.8	53.6	51.5	49.6	47.9	46.2	44.7	44.1	43.5	43.0	42.4	41.9	41.4	40.9	40.4	39.9	39.4
125	69.8	67.0	64.4	62.0	59.8	57.7	55.8	55.1	54.4	53.7	53.0	52.3	51.7	51.1	50.4	49.8	49.3
150	83.7	80.4	77.3	74.4	71.8	69.3	67.0	66.1	65.2	64.4	63.6	62.8	62.0	61.3	60.5	59.8	59.1
200	111.6	107.2	102.0	99.2	95.7	92.4	89.3	88.1	87.0	85.9	84.8	83.7	82.7	81.8	80.7	79.7	78.8
250	139.5	133.9	128.8	124.0	119.6	115.5	111.6	110.1	108.7	107.3	106.0	104.6	103.4	102.1	100.9	99.7	98.5
300	167.4	160.7	154.5	148.8	143.5	138.6	133.9	132.2	130.5	128.8	127.2	125.5	124.0	122.5	121.0	119.6	118.2
350	195.3	187.5	180.3	173.6	167.4	161.6	156.2	154.2	152.2	150.2	148.3	146.5	144.7	142.9	141.2	139.5	137.9
400	223.2	214.3	206.0	198.4	191.3	184.7	178.6	176.2	173.9	171.7	169.5	167.5	165.3	163.3	161.4	159.4	157.6
500	279.0	267.8	257.5	248.0	239.1	230.9	223.2	220.3	217.4	214.6	211.9	209.3	206.7	204.2	201.7	199.3	197.0
600	334.8	321.4	309.0	297.6	287.0	277.1	267.8	264.3	260.9	257.5	254.3	251.0	248.0	245.0	242.0	239.1	236.3
700	390.6	374.9	360.5	347.2	334.8	323.2	312.5	308.3	304.3	300.4	296.6	293.0	289.3	285.8	282.3	279.0	275.7
800	446.4	428.5	412.0	396.8	382.6	369.4	357.1	352.4	347.8	343.4	339.0	335.0	330.6	326.6	322.7	318.8	315.1

Gas = 1000 Btu/pie<sup>3</sup> Salida (Btu/h)/FTSE = Entrada (Btu/h) FTSE = Eficiencia de combustible a vapor

**Tabla 7: RELACIONES DE ENCENDIDO DE COMBUSTIBLE ACEITE N.º 2 (GPH) A DIVERSAS EFICIENCIAS**

bhp	Eficiencia de agua a vapor																			
	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
100	40.0	38.5	37.0	35.5	34.0	33.0	32.0	31.5	31.0	30.5	30.5	30.0	29.5	29.0	29.0	28.5	28.0	28.0	27.5	27.0
125	50.0	48.0	46.0	44.5	42.5	41.0	40.0	39.5	39.0	38.0	38.0	37.5	37.0	36.5	36.0	35.5	35.0	35.0	34.5	34.0
150	60.0	57.5	55.0	53.0	51.0	49.5	48.0	47.0	46.5	46.0	45.5	45.0	44.5	43.5	43.0	42.5	42.0	41.5	41.0	41.0
200	79.5	76.5	73.5	71.0	68.5	66.0	64.0	63.0	62.0	61.5	60.5	60.0	59.0	58.5	57.5	57.0	56.5	55.5	55.0	54.5
250	99.5	95.5	92.0	88.5	85.5	82.5	79.5	78.5	77.5	76.5	75.5	74.5	74.0	73.0	72.0	71.0	70.5	69.5	68.5	68.0
300	119.5	115.0	110.5	106.5	102.5	99.0	95.5	94.5	93.0	92.0	91.0	89.5	88.5	87.5	86.5	85.5	84.5	83.5	82.5	81.5
350	139.5	134.0	129.0	124.0	119.5	115.5	111.5	110.0	108.5	107.5	106.0	104.5	103.5	102.0	101.0	99.5	98.5	97.5	96.0	95.0
400	159.5	153.0	147.0	141.5	136.5	132.0	127.5	126.0	124.0	122.5	121.0	119.5	118.0	116.5	115.0	114.0	112.5	111.0	110.0	108.5
500	199.5	191.5	184.0	177.0	171.0	165.0	159.5	157.5	155.5	153.5	151.5	149.5	147.5	146.0	144.0	142.5	140.5	139.0	137.5	136.0
600	239.0	229.5	220.5	212.5	205.0	198.0	191.5	189.0	186.5	184.0	181.5	179.5	177.0	175.0	173.0	171.0	169.0	167.0	165.0	163.0
700	279.0	268.0	257.5	248.0	239.0	231.0	223.0	220.0	217.5	214.5	212.0	209.0	206.5	204.0	201.5	199.0	197.0	194.5	192.5	190.0
800	319.0	306.0	294.5	283.5	273.5	264.0	255.0	251.5	248.5	245.0	242.0	239.0	236.0	233.5	230.5	227.5	225.0	222.5	220.0	217.5

Aceite n.º 2 Oil = 140,000 BTU/gal Salida (Btu/h)/FTSE = Entrada (Btu/h) FTSE = Eficiencia de combustible a vapor Entrada (Btu/h)/(140,000 Btu/gal) = gph

**Tabla 8: RELACIONES DE ENCENDIDO DE COMBUSTIBLE ACEITE N.º 6 (GPH) A DIVERSAS EFICIENCIAS**

bhp	Eficiencia de agua a vapor																			
	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
100	37.0	35.5	34.5	33.0	32.0	31.0	30.0	29.5	29.0	28.5	28.5	28.0	27.5	27.0	27.0	26.5	26.0	26.0	25.5	25.5
125	46.5	44.5	43.0	41.5	40.0	38.5	37.0	36.5	36.0	36.0	35.5	35.0	34.5	34.0	33.5	33.2	33.0	32.5	32.0	31.5
150	56.0	53.5	51.5	49.5	48.0	46.0	44.5	44.0	43.5	43.0	42.5	42.0	41.5	41.0	40.5	40.0	39.5	39.0	38.5	38.0
200	74.5	71.5	68.5	66.0	64.0	61.5	59.5	58.5	58.0	57.0	56.5	56.0	55.0	54.5	54.0	53.0	52.5	52.0	51.5	50.5
250	93.0	89.5	86.0	82.5	79.5	77.0	74.5	73.5	72.5	71.5	70.5	69.5	69.0	68.0	67.0	66.5	65.5	65.0	64.0	63.5
300	111.5	107.0	103.0	99.0	95.5	92.5	89.5	88.0	87.0	86.0	85.0	83.5	82.5	81.5	80.5	79.5	79.0	78.0	77.0	76.0
350	130.0	125.0	120.0	115.5	111.5	107.5	104.0	103.0	101.5	100.0	99.0	97.5	96.5	95.5	94.0	93.0	92.0	91.0	90.0	89.0
400	149.0	143.0	137.5	132.5	127.5	123.0	119.0	117.5	116.0	114.5	113.0	111.5	110.0	109.0	107.5	106.5	105.0	104.0	102.5	101.5
500	186.0	178.5	171.5	165.5	159.5	154.0	149.0	147.0	145.0	143.0	141.0	139.5	138.0	136.0	134.5	133.0	131.5	130.0	128.5	127.0
600	223.0	214.0	206.0	198.5	191.5	184.5	178.5	176.0	174.0	171.5	169.5	167.5	165.5	163.5	161.5	159.5	157.5	155.5	154.0	152.0
700	260.5	250.0	240.5	231.5	223.0	215.5	208.5	205.5	203.0	200.5	198.0	195.5	193.0	190.5	188.0	186.0	184.0	181.5	179.5	177.5
800	297.5	285.0	274.5	264.5	255.0	246.5	238.0	235.0	232.0	229.0	226.0	223.0	220.5	217.5	215.0	212.5	210.0	207.5	205.0	203.0

Aceite n.º 6 Oil = 150,000 BTU/gal Salida (Btu/h)/FTSE = Entrada (Btu/h) FTSE = Eficiencia de combustible a vapor Entrada (Btu/h)/(150,000 Btu/gal) = gph

**Tabla 9: EFICIENCIAS DEL MODELO CBLE, GAS NATURAL**

TAMAÑO DE LA CALDERA	PRESIÓN DE FUNCIONAMIENTO = 10 psi				PRESIÓN DE FUNCIONAMIENTO = 125 psi			
	% DE CARGA				% DE CARGA			
	25 %	50 %	75 %	100 %	25 %	50 %	75 %	100 %
100	84.4	85.0	84.8	84.4	81.5	82.4	82.3	82.2
125	83.3	83.6	83.4	83.2	80.4	80.9	81.0	81.0
150	84.4	84.6	84.5	84.3	81.5	82.0	82.0	82.1
200	85.0	85.3	85.1	84.9	82.2	82.7	82.7	82.7
250	85.0	84.7	84.0	83.3	82.0	82.0	81.6	81.3
300	85.3	85.3	84.6	83.9	82.6	82.7	82.2	81.9
350	85.3	85.7	85.2	84.5	82.6	83.2	82.8	82.5
400	84.5	84.7	84.6	84.4	81.8	82.2	82.4	82.2
500	85.5	85.7	85.5	85.2	82.8	83.2	83.3	83.1
600	85.7	86.0	85.8	85.6	82.9	83.5	83.6	83.5
700	85.7	86.2	86.0	85.7	83.0	83.6	83.6	83.6
800	85.8	86.1	85.9	85.6	83.1	83.6	83.7	83.5

**Tabla 10: EFICIENCIAS DEL MODELO CBLE, ACEITE N.º 2**

TAMAÑO DE LA CALDERA	PRESIÓN DE FUNCIONAMIENTO = 10 psi				PRESIÓN DE FUNCIONAMIENTO = 125 psi			
	% DE CARGA				% DE CARGA			
	25 %	50 %	75 %	100 %	25 %	50 %	75 %	100 %
100	87.8	88.4	88.1	87.7	84.8	85.7	85.6	85.5
125	86.7	86.9	86.7	86.6	83.7	84.2	84.3	84.3
150	87.8	88.0	87.8	87.6	84.8	85.3	85.3	85.4
200	88.4	88.7	88.4	88.2	85.6	86.0	86.0	86.0
250	88.3	88.1	87.4	86.7	85.3	85.3	84.9	84.7
300	88.6	88.7	88.0	87.3	85.9	86.0	85.5	85.2
350	88.6	89.0	88.5	87.8	85.9	86.6	86.1	85.8
400	87.9	88.1	87.9	87.6	85.1	85.5	85.6	85.5
500	88.9	89.0	88.9	88.6	86.1	86.5	86.6	86.4
600	89.0	89.4	89.2	89.0	86.2	86.8	86.9	86.8
700	89.1	89.5	89.3	89.1	86.3	86.9	87.0	86.9
800	89.2	89.5	89.3	89.0	86.4	86.9	87.0	86.8

**Tabla 11: EFICIENCIAS DEL MODELO CBLE, ACEITE N.º 6**

TAMAÑO DE LA CALDERA	PRESIÓN DE FUNCIONAMIENTO = 10 psi				PRESIÓN DE FUNCIONAMIENTO = 125 psi			
	% DE CARGA				% DE CARGA			
	25 %	50 %	75 %	100 %	25 %	50 %	75 %	100 %
100	88.2	88.5	88.3	88.0	84.6	85.8	85.9	85.8
125	87.2	87.4	87.2	87.0	84.1	84.6	84.7	84.8
150	88.4	88.5	88.3	88.1	85.3	85.8	85.8	85.8
200	88.9	89.2	88.9	88.7	86.0	86.5	86.4	86.5
250	88.8	88.5	87.8	87.1	85.8	85.7	85.3	85.0
300	89.1	89.2	88.4	87.7	86.3	86.4	86.0	85.6
350	89.1	89.5	89.0	88.4	86.4	87.0	86.6	86.2
400	88.4	88.5	88.4	88.1	85.5	85.9	86.0	85.9
500	89.4	89.5	89.3	89.2	86.5	86.9	87.0	86.9
600	89.5	89.9	89.7	89.4	86.7	87.3	87.4	87.2
700	89.6	90.0	89.8	89.6	86.8	87.3	87.4	87.4
800	89.7	90.0	89.8	89.5	86.9	87.4	87.5	87.3

---

## NOTAS sobre los datos de eficiencia

1. Las eficiencias se basan en los siguientes análisis de combustible:

### Gas natural

Carbono, % (peso) = 68.98

Hidrógeno, % (peso) = 22.31

Azufre, % (peso) = 0.0

Valor de calentamiento, Btu/lb = 21,830

### Aceite n.º 2:

Carbono, % (peso) = 85.8

Hidrógeno, % (peso) = 12.7

Azufre, % (peso) = 0.2

Valor de calentamiento, Btu/lb = 19,420

### Aceite n.º 6

Carbono, % (peso) = 86.6

Hidrógeno, % (peso) = 10.9

Azufre, % (peso) = 2.09

Valor de calentamiento, Btu/lb = 18,330

2. Las eficiencias se basan en una temperatura del aire ambiente de 80 °F, humedad relativa de 30 % y un 15 % de aire sobrante en el escape.
3. Las eficiencias de las calderas de emisiones ultra bajas (15 ppm, 9 ppm) serán 0.6 % más bajas que los valores de la tabla debido al requisito de aire sobrante de 25 %.
4. Las eficiencias incluyen las pérdidas de radiación y convección, según se indican en la Tabla 1.
5. Todas las pruebas de verificación de eficiencia se basarán en el método de pérdida de gases en la chimenea.







221 Law Street • Thomasville, GA 31792 USA  
229-226-3024 • 800-296-4110 • [info@cleaverbrooks.com](mailto:info@cleaverbrooks.com)  
[cleaverbrooks.com](http://cleaverbrooks.com)

Impreso en EE. UU.  
©2020 Cleaver-Brooks, Inc.  
CB-7767  
03/2021