

**EVALUACIÓN DEL GENERADOR DE VAPOR DE LA PLANTA
PILOTO DEL CENTRO DE ESTUDIO DE ANTICORROSIVOS Y
TENSOACTIVOS DE LA UNIVERSIDAD DE MATANZAS
“CAMILO CIENFUEGOS”.**

Ing. Alicia López Rodríguez¹

*1. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Carretera a
Varadero, Km 31/2, Matanzas, CP 44740 , Cuba.*

Resumen.

El trabajo se realiza en el generador de vapor de la Planta Piloto del Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensoactivos de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” donde se producen las grasas líquidas de tipo DISTIN, fosfatados y otros productos similares; tiene como objetivo caracterizar y evaluar el mismo. Este generador es el encargado de producir el vapor necesario en el proceso utilizado como fuente de energía para que la masa reaccionante alcance la temperatura adecuada para que ocurra la reacción. Se realiza el diagnóstico energético de la caldera objeto de estudio utilizando el software AUDEM versión 2.0 obteniéndose una eficiencia del 91,99% por el método directo y 89,64 % por el método indirecto. Las mayores pérdidas obtenidas son las producidas por los gases de escape y las pérdidas al exterior. Se realizan además una serie de recomendaciones con el objetivo de aumentar la eficiencia de la caldera.

Palabras claves: Generador de vapor, Eficiencia energética, Caldera.

Introducción.

Un generador de vapor es un conjunto de equipos y agregados auxiliares, integrados en un esquema tecnológico con el objetivo de producir vapor a partir de agua de alimentación, para lo cual utilizan energía proveniente de una fuente de calor.

Las Calderas o Generadores de vapor son un elemento esencial en el funcionamiento de la mayoría de las instalaciones industriales y de servicios. Ellas producen el vapor que entrega la energía que demandan los procesos de calentamiento y la producción de potencia mecánica.

En la Planta Piloto de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” se producen las grasas líquidas de tipo DISTIN, además de fosfatados y otros productos similares. La planta cuenta con tres reactores en los cuales se obtienen otros productos como masticas y grasa semisólida. En el primer reactor I, equipo principal del proceso de obtención de la grasa líquida, se realiza un proceso de mezclado con agitación y calentamiento de las materias primas, aceite y cera sólida. El flujo de vapor necesario en el reactor para calentar la mezcla se produce en la sala de calderas.

Este sistema está constituido por la caldera y por todo un sistema donde circula el vapor hasta los diferentes equipos que requieren de su uso.

La caldera es un equipo intercambiador de calor el cual genera toda la energía del proceso de producción y en la misma tiene lugar la transferencia de calor como operación unitaria. El agua que va a la caldera se trata previamente en la columna de intercambio iónico, donde mediante un intercambio iónico disminuye la dureza temporal del agua (sales de calcio y magnesio).

La eficiencia térmica es el indicador más importante del trabajo de un generador de vapor, ya que caracteriza el grado de aprovechamiento de la energía suministrada, o sea, la parte de esa energía que ha sido transferida al agente de trabajo (Pons, 1987). Es por esto que el objetivo de este trabajo es la evaluación energética del generador de vapor instalado en la Planta Piloto del Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensioactivos de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

Desarrollo.

Caracterización del sistema.

En la Planta Piloto del CEAT la producción no es continua, ya que se produce contra pedido, dependiendo la misma de los proyectos de generalización del centro de Estudios, ya que al ser éste un centro de investigación depende la producción de las necesidades y etapas de las investigaciones vinculadas a él. Se realizan además algunas producciones para brindar servicio a otras facultades de la UMCC como son producción de probióticos para tesis de doctorado del Centro de Estudios de Biotecnología. La demanda de vapor por lo tanto estará en dependencia del producto a obtener y del volumen de la producción requerida.

A continuación se muestra la demanda de vapor para un ciclo de producción (templa) para las producciones más frecuentes:

Tabla 1. Demanda de vapor para un ciclo de producción.

Producto	Consumo de vapor (Kg.)
Mástiques	1300
Grasas	1040
Ceras	260

Descripción del equipo y sus auxiliares

Caldera

Cantidad: 1

Superficie calórica: 5,32 m²

Material: Acero 20 K

La caldera opera con Petróleo-Diesel

Partes de la caldera

1. Quemador: Se compone del hogar (horno, fogón y cámaras de fuego) en el cual se quema el combustible.
2. Bomba de agua

Esta caldera tiene dos pasos, cañón central y haz de tubos

Tanque de combustible

Cantidad: 1
Diámetro: 1.43 m
Largo: 4.25 m
Volumen: 6825 m
Material: Acero

Tanque de agua tratada (dentro de casa de caldera)

Cantidad: 1
Diámetro interior: 0.9 m
Diámetro exterior: 0.920 m
Longitud: 1.5 m
Capacidad: 0.95 m³

Tanques de almacenamiento de agua cruda, condensada y tratada.

Cantidad: 3
Diámetro exterior: 1.30 m
Altura: 1.5 m
Capacidad: 1 m³ c/u
Material: Fibrocemento

Suavizador (Tratamiento de agua para la caldera)

Cantidad: 1
Diámetro: 0.55 m
Altura: 1.5 m
Capacidad: 0.35 m³

Bomba

Cantidad: 1
Centrífuga (ITUR)
rpm: 3480
Frecuencia: 60 Hz

Clasificación

Los generadores de vapor pueden ser divididos en los siguientes grupos:

1. De acuerdo con la disposición de los fluidos en los tubos.

Esta es una caldera pirotubular o de tubos de fuego. En ella los gases calientes (fuego) circulan por dentro de los tubos, mientras que el agua está por fuera.

2. De acuerdo con el uso.

- Estacionaria. Se encuentra instalada fija en su lugar de operación
3. De acuerdo con el tamaño.

Pequeña. Es un generador de vapor de pequeñas producciones y operación a bajas presiones. Producción: $D < 20\ 000\ \text{kg/h}$. Presión: $P < 2,0\ \text{MPa}$
 4. De acuerdo con la forma y posición de los tubos.

De tubos rectos. En ellos toda la flusería está integrada por tubos rectos horizontales.
 5. De acuerdo con el sistema de circulación de la sustancia de trabajo.

De circulación natural. En ellos la sustancia de trabajo se mueve por el principio del termosifón, como resultado de la diferencia de densidad entre el agua y la mezcla agua – vapor que se genera.
 6. De acuerdo con el combustible. Esta clasificación está en función del combustible utilizado y en este caso las particularidades están más bien en el sistema de combustión (horno) que en la caldera en sí.
 - Generador de vapor de combustible líquido (diesel).
 7. De acuerdo con el tiro de los gases.
 - De tiro natural.

Tabla 2. Datos de la caldera

Caldera	ALASTOR
Generación máxima de vapor	260kgv/h
Fecha fabricación	10/08/1983
Espesor tubo central	10,0 mm
Espesor placas	12,0 mm
Presión máxima de trabajo nueva	10,0 bar
Presión máxima de trabajo actual	6,0 bar
Presión máxima de prueba hidráulica	15 bar
Diámetro del casco	1026,0 mm
Longitud del casco	1178,0 mm
Espesor del casco según fabricante	10,0 mm
Espesor medido muestreo casco	9,9 mm
Espesor mínimo obtenido para el cálculo en la placa	10,0 mm

Esquema estructural y de funcionamiento

Este sistema está constituido por la caldera, las tuberías por donde circula el vapor y el sistema de alimentación de agua y su tratamiento, además se encuentra automatizada y cuenta con la instrumentación correspondiente y 2 válvulas de seguridad. Se muestra el esquema típico de la caldera en el anexo 1.(Colectivo de autores,

Antes de realizar las operaciones de la planta, la caldera debe iniciar su trabajo a bajas presiones, con el fin de que el vapor generado comience a calentar dicho sistema, evitándose así que se produzcan golpes de arieto una vez puesta en marcha la planta.

Esquema de la instalación.

En la figura 1 se muestra el sistema de la instalación. (NKombe y Nazare, 2008)

La caldera se alimenta de agua tratada procedente del tanque de almacenamiento el cuál se encuentra situado en el local de la misma abriendo las válvulas # 401, # 402 y # 403.

El combustible utilizado es diesel que proviene del tanque ubicado en las afueras del local. Para su introducción se abre la válvula # 404.

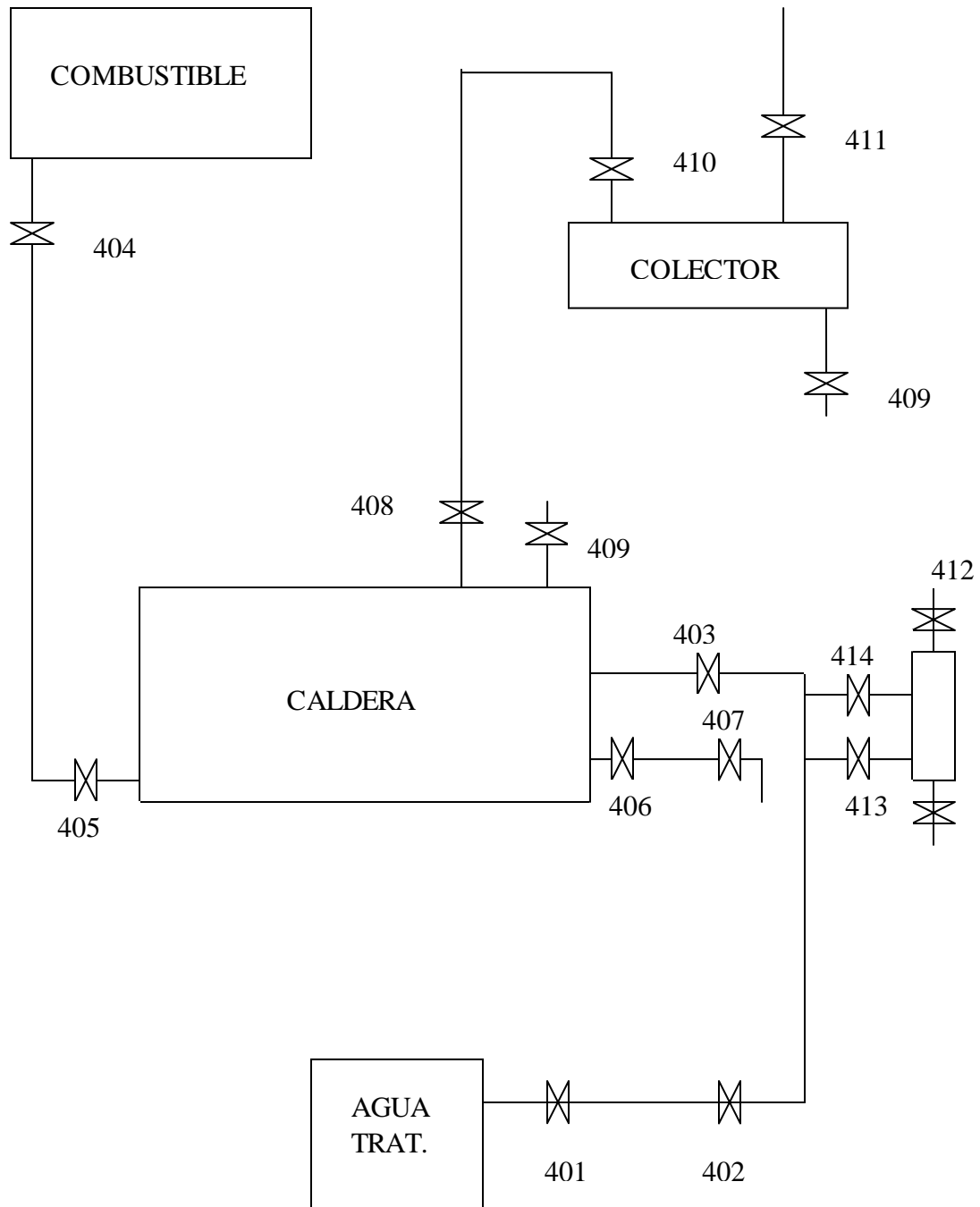


Figura 1. Esquema de la instalación

Instrumentos de medición y válvulas de seguridad.

Los dispositivos de seguridad y control son aparatos o accesorios que se instalan en la caldera con la finalidad de evitar que se produzcan accidentes como resultado de las explosiones de las mismas y también que la caldera trabaje más eficiente y segura. (Gómez et al, 2007)

Las causas más frecuentes de los estallidos están en el descenso del nivel de agua y las presiones excesivas sobre la de trabajo. Cuando el agua dentro de la caldera desciende muy por debajo de su nivel normal y deja de hacer contacto con la superficie de los tubos o del tubo central u hogar, la presión del vapor dentro de la caldera actúa sobre las chapas caldeadas que reblandecidas por la ausencia del agua hace que se deformen y formen bolsas o grietas. Por todo esto es muy importante el uso de instrumentos de medición y válvulas de seguridad.

En la caldera estudiada existe la siguiente instrumentación:

Instrumentación

➤ Indicadores de nivel.

Cantidad: 2

Miden el nivel del agua en la caldera. Son de tubo de cristal

Queda terminantemente prohibido operar la caldera sí:

1. No se visualiza el nivel de agua en la misma.
2. Si existe diferencia en cuanto al nivel de los dos indicadores instalados.

➤ Manómetros

-Manómetro que mide presión en la caldera:

Tipo: Bourdon

Rango: 0-16 kgf/cm²

-Manómetro instalado a la salida de la bomba de agua para alimentar a la caldera:

Tipo: Bourdon

Rango: 0-16 kgf/cm²

➤ Termómetros

-Termómetro que mide la temperatura de los gases de salida

Tipo: de bulbo o capilar

Rango: (0-600°C)

-Registrador de temperatura (carta)

➤ Válvulas de seguridad

La válvula de seguridad es un accesorio que abre automáticamente cuando el equipo en el cual está instalado sobrepasa la presión permisible por la misma y cierra cuando la presión regresa a un valor inferior al valor normal de trabajo de dicho equipo.

La función de dicha válvula es evitar que la presión de la caldera sobrepase el valor normal de trabajo para la cual ha sido construida.

Cantidad: 2

Se disparan a una presión de 6,5 kgf/cm² (alta) y arranca a 5,2 kgf/cm²

Las válvulas de seguridad deben ser accionadas por el operador una vez por turno para evitar que la misma se selle y no dispare a la presión para la que está diseñada la misma ocasionando una avería en el equipo.

Tapón Fusible

Es un aditamento de seguridad que se coloca en la caldera en aquel lugar de la superficie de calefacción donde el nivel de agua no debe descender. Cuando el nivel del agua desciende por debajo del lugar donde está ubicado el tapón, éste se funde debido al sobrecalentamiento de la superficie, dejando escapar el vapor por el orificio donde está colocado.

La caldera presentó problemas para trabajar en régimen automático, fue revisada por técnicos de la Empresa suministradora ALASTOR, planteando los mismos que el programador se encuentra roto, se solicitó factura para su adquisición en septiembre del 2005, no existiendo recursos financieros en la Universidad para ello.

Operaciones durante el funcionamiento

Durante el funcionamiento de la caldera el operador debe:

- Vigilar y mantener el nivel de agua adecuado en la caldera.
- Mantener la presión de vapor dentro del límite establecido al equipo.
- Regular correctamente los quemadores mecánicos y los dispositivos de control del tiro, con el fin de lograr una buena combustión y mantener la producción de vapor de la caldera de acuerdo al consumo.
- Realizar el régimen de purgas de acuerdo a las indicaciones del técnico en tratamiento de agua.
- Comprobar el funcionamiento correcto de todos los dispositivos de seguridad y control de la caldera y los de protección por falta de llama.
- Comprobar el buen funcionamiento de los equipos de alimentación de agua y los auxiliares de emergencia.
- Observar atentamente el funcionamiento de la caldera, los equipos auxiliares y demás accesorios y aditamentos con la finalidad de detectar a tiempo cualquier falla o deficiencia de los mismos.

- Comprobar la dureza del agua al menos dos veces por cada turno de trabajo, y en caso necesario regenerar la planta de tratamiento de agua.
- Mantener la sala de calderas, las canales y las áreas adyacentes limpias y ordenadas, así como la caldera y los equipos auxiliares.
- Eliminar todo tipo de salideros por válvulas, platillos, uniones y por los registros de hombres (*manhole*) y registros de manos (*handhole*).
- Mantener la caldera bajo observación durante todo el tiempo en que se encuentre en funcionamiento y/o haya presión en su interior.
- Velar que la combustión se realice con la máxima eficiencia.
- quemador y los electrodos de ignición.
- Llevar el control diario del consumo de combustible y las existencias en los tanques y realizar el drenaje de estos últimos.
- Realizar la limpieza de la caldera por la parte de agua y por el lado de humos de acuerdo a los planes mantenimiento elaborados al efecto.
- No permitir el paso ni la permanencia en la sala de calderas de personal ajeno a su explotación, reparación o mantenimiento.
- Dejar la caldera lista para su puesta en marcha al día siguiente, al terminar su turno de trabajo.
- Comunicar a su jefe inmediato superior sobre cualquier falla o avería, que ponga en peligro la explotación segura de la caldera o que no permita su normal funcionamiento.

Diagnóstico energético de la caldera.

Para realizar el diagnóstico energético de la caldera objeto de estudio fue utilizado el software AUDEM versión 2.0.

Datos utilizados:

Características del combustible:

C: 84%

H₂: 12%

O₂: 1%

N₂: 0 %

Azufre: 2%

Cenizas: 0%

Humedad: 1%

Gravedad específica: 0,996

VCI: 39710 Kj/Kg

Gases de escape:

O₂: 5 %

CO₂: 11,5%

CO: 6 ppm

H₂: 0

CH₄: 0

Índice de Bacharat: 3

Otros Datos:

D: 1m

L: 1,5m

Temperatura exterior: 80 °C

Flujo de combustible: 0,0052 Kg./s

Temperatura del combustible: 30 °C

Flujo de vapor saturado: 0,072 Kg./s

Presión en el domo: 0,65 MPa

Flujo de agua alimentada: 0,072 Kg/s

Presión de agua alimentada: 0,7 MPa

Temperatura del agua alimentada: 30°C

Temperatura de los gases de escape: 200°C

Temperatura del aire ambiente: 30°C

Eficiencia nominal del G.V.: 90%

Horas de trabajo anuales: 100

Resultados obtenidos:

Poder calórico inferior: 39710 Kj/Kg

Volumen teórico de aire: 0 m³/Kg

Volumen teórico de gases: 0 m³/Kg

Coefficiente de exceso de aire en gases de escape: 1,291

Caudal de aire comburente: 0 m³/Kg

Caudal de gases de combustión: 0,062 m³/Kg

Pérdidas por gases de escape: 8,574 %

Pérdidas por Inc. Química: 0,001 %

Pérdidas al exterior: 1,387 %

Eficiencia Bruta del G.V.(Método Directo): 91,99 %

Eficiencia Bruta del G.V.(Método Indirecto): 89,638 %

Consumo de combustible: 0,005 Kg/s

Consumo específico de combustible: 72,222 g/Kg

Producción específica de vapor: 13,646 Kg/Kg

No hay ahorro respecto a la eficiencia nominal: pérdida de 0,01 TM anuales

Para aumentar la eficiencia deben mejorarse los siguientes parámetros:

- Contenido de O₂ de gases de escape
- Contenido de CO de gases de escape
- Índice de Bacharat
- Temperatura de los gases de escape

- Temperatura de la superficie exterior

La eficiencia térmica es el indicador más importante del trabajo de un generador de vapor, ya que caracteriza el grado de aprovechamiento de la energía suministrada, o sea, la parte de esa energía que ha sido transferida al agente de trabajo.

Sobre la eficiencia térmica de un generador de vapor influyen muchos factores, pero estos pueden englobarse en tres aspectos básicos para obtener una alta eficiencia:

1. La combustión completa del combustible, lograda con una mínima cantidad de aire en exceso.
2. El enfriamiento profundo de los productos de la combustión.
3. La reducción de las pérdidas de calor por radiación y convección al medio circundante.

El valor de eficiencia de la caldera obtenido por ambos métodos es bastante similar y se puede considerar que es aceptable para una caldera pirotubular de pequeño tamaño.

Al analizar los resultados se aprecia que las mayores pérdidas son las producidas por los gases de escape (6,574%) y las pérdidas al exterior (1,387%)

Estos valores pueden corresponder a la pequeña capacidad de la caldera y a la poca cantidad de horas anuales de trabajo de la misma, teniendo en cuenta que la demanda de vapor en la Planta Piloto depende de las producciones que se realizan y las mismas son pequeñas y fluctuantes. A cargas reducidas se reducen las velocidades del aire, se afecta la atomización del combustible y se reduce la temperatura en el horno, todo lo cual incrementa la pérdida por combustión incompleta.

El valor de la temperatura de los gases de escape es de 200°C, superior al valor de temperatura según criterio de Borroto y Rubio (Borroto, 2007) que plantean debe encontrarse entre 130-140 °C para combustibles líquidos con contenido de S entre 0,5 y 2 %

Las causas principales que pueden provocar un incremento de las pérdidas al exterior durante la explotación son:

- El deterioro del aislamiento térmico de la caldera.
- La operación a cargas reducidas.

En este caso la temperatura exterior es de 80 °C, muy superior a lo recomendado, que es hasta 50°C , lo que demuestra que existen problemas con el aislamiento térmico de la caldera y las líneas de vapor.

Recomendaciones para el incremento de la eficiencia de la caldera.

- Se haga un análisis para optimizar el trabajo de la caldera, de forma tal que la producción de vapor sea más continua y así evitar las paradas y puestas en marcha que ocasionan un aumento de consumo de combustible

- Se realice un ajuste de la combustión (optimización de la relación aire/combustible). En este caso , como se utiliza combustible líquido el coeficiente de exceso de aire debe estar en el rango de 1,05 y 1,15
- Uso de aditivos en combustibles.
- Empleo de emulsiones agua - combustible.
- Uso de turbulizadores (calderas pirotubulares).
- Dampers de gases de chimenea (régimen on/off).
- Uso de quemadores de bajo exceso de aire.
- Reducción de potencia térmica del quemador (en calderas subcargadas).
- Control adecuado del régimen químico.
- Reducción del régimen de purgas, manteniendo normas de régimen químico.
- Control automático de las purgas.
- Se instalen recuperadores de calor de gases de salida. Economizadores y calentadores de aire.
- Recuperación de calor de las purgas.
- Instalar el programador para que no existan problemas con el control automático en la arrancada de la caldera.
- Instalar el transformador de ignición real de la caldera.
- Mejorar el aislamiento térmico.
- Instalar el magnetizador
- Instalar termómetro y manómetro para el combustible y termómetro par el agua de alimentación
- Realizar un mantenimiento sistemático de quemadores.
- Limpieza adecuada de las superficies de calentamiento durante la operación.
- Optimización del periodo y tiempo del soplado.
- Capacitación del personal técnico y de operación.
- Realizar pruebas de eficiencia periódicamente.

Por otro lado, la ineficiencia de las calderas y sistemas de distribución, además de implicar mayor consumo de combustible, implican también un incremento proporcional de las emisiones de gases de combustión tales como:

Dióxido de Carbono (CO₂) : probable causante de "Efecto invernadero".

Dióxido de Azufre (SO₂) : causante de "Lluvia ácida".

Óxidos de nitrógeno (NO_x) : causante de "Lluvia Acida".

Monóxido de Carbono (CO) : contaminante.

Partículas en la forma de hollín: contaminante.

En conclusión, es necesario adoptar medidas que permitan incrementar la eficiencia de la caldera y sistemas de distribución de vapor, usando las mejores tecnologías disponibles y

aplicando técnicas para incrementar la eficiencia de la caldera y el uso de vapor o agua caliente y reducir las pérdidas en los sistemas de distribución

Conclusiones

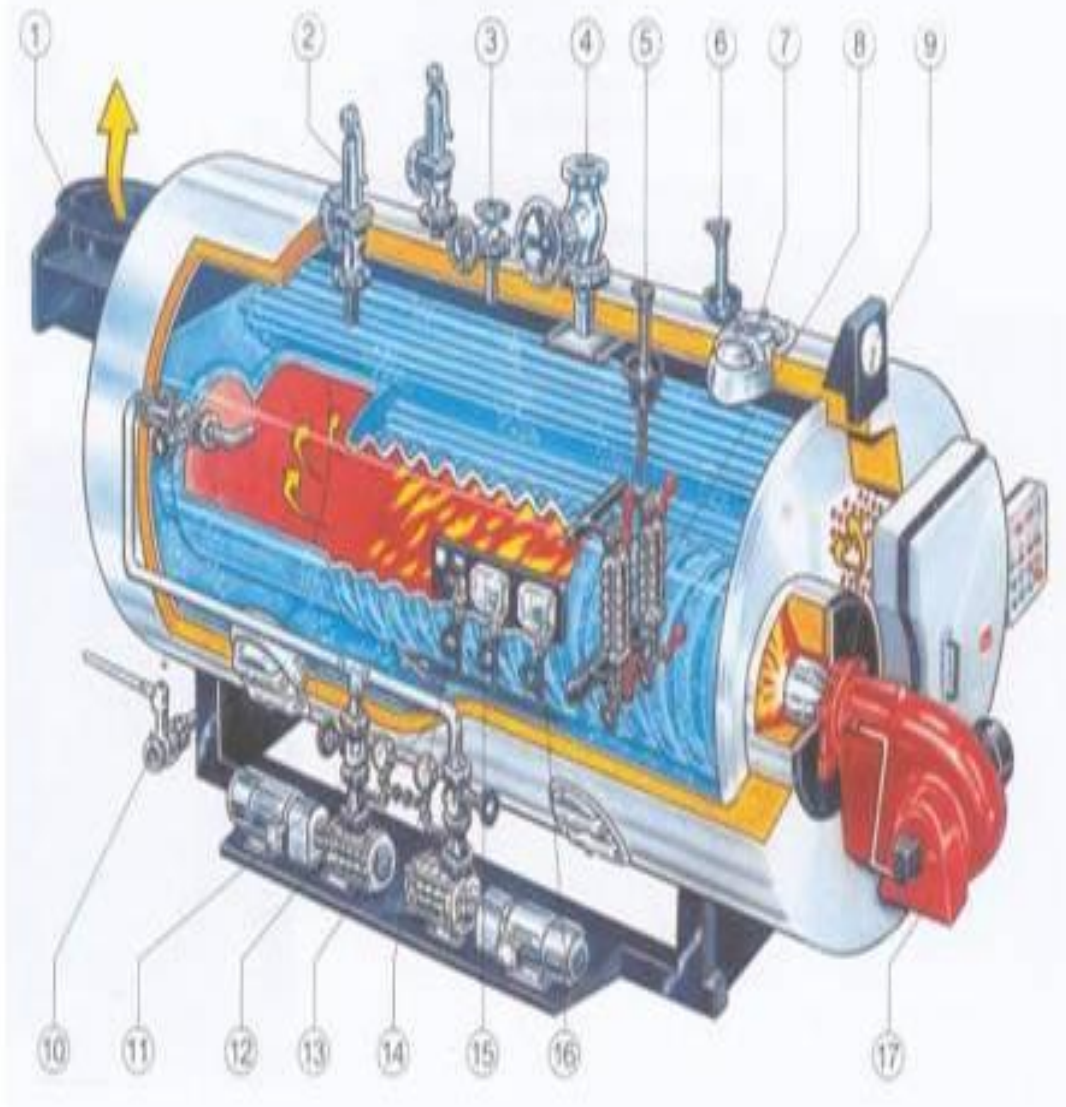
Se realiza el estudio de la caldera instalada en la Planta Piloto del Centro de Estudios de Aditivos y Tensoactivos (CEAT) de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, la cual es del tipo pirotubular, construida en Cuba por la Empresa ALASTOR, de pequeña capacidad, de tubos rectos horizontales y que utiliza como combustible el diesel. Se utiliza el software AUDEM versión 2.0 para la evaluación energética de la caldera obteniéndose una eficiencia del 91,99% por el método directo y 89,638 % por el método indirecto, siendo las mayores pérdidas obtenidas las producidas por los gases de escape (8,574%) y las pérdidas al exterior (1,387%). Se realizan una serie de recomendaciones con el objetivo de aumentar la eficiencia de la caldera.

Bibliografía

1. Borroto, A.; Rubio, R., 2007. Combustión y generadores de vapor. Editorial UNIVERSO SUR. Cienfuegos. 134 p.
2. Gómez, J.; Reyes, R. ; Guzmán, D., 2007. Temas especiales de automatización y control. Editorial UNIVERSO SUR. Cienfuegos. 135 p.
3. NKombe, H.; Nazare, E., 2008. Evaluación del sistema de generación de vapor de la Planta Piloto de Aditivos y tensoactivos de la UMCC. Proyecto de Curso de IP III. Dpto. de Ingeniería Química. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. 35 p.
4. Pons, A., 1987. Termodinámica Técnica para Ingenieros Químicos. La Habana. Editorial Pueblo y Educación. 204 p.

Anexos

- | | | |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1 EVACUACIÓN DE HUMOS | 7 ENTRADA HOMBRE | 13 BOMBAS ALIMENTACIÓN AGUA |
| 2 VÁLVULAS DE SEGURIDAD | 8 INDICADORES DE NIVEL | 14 TRANSMISOR DE PRESIÓN |
| 3 SALIDA AUXILIAR DE VAPOR | 9 MANÓMETRO | 15 PRESÓSTATO DE SEGURIDAD |
| 4 SALIDA PRINCIPAL DE VAPOR | 10 PURGA Y VACIADO | 16 PRESÓSTATO DE REGULACIÓN |
| 5 SEGURIDAD DE NIVEL | 11 MANÓMETRO | 17 EQUIPO DE COMBUSTIÓN |
| 6 REGULADOR Y SEGURIDAD DE NIVEL | 12 ALIMENTACIÓN DE AGUA | |



Anexo 1. Esquema de una caldera piro-tubular