

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA**TERMODINÁMICA DE EQUIPOS INDUSTRIALES:
EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CALDERA**

Equipos de Trabajo: Javier Bonilla; Magda Carranza; Manuel Castillo
Karina Aguirre; Jorge Casasola; Álvaro González
Alberto Belthetón; Analy Castillo; Estuardo Juárez; Fernando Lemus
Oscar Bances; Rocío Donis; Héctor Estrada; Astrid Rubio
Roberto Cahueque; Fernando González; Sofía Rodas; Edgar Villagrán

Catedrático: Ing. Federico G. Salazar, correo@fsalazar.bizland.com

RESUMEN

Los estudiantes del curso de Termodinámica de la carrera de Ingeniería Química realizaron una experiencia práctica en el laboratorio de Operaciones Unitarias del TEC Landívar. El objetivo de la práctica consistió en analizar el funcionamiento de una caldera midiendo sus principales propiedades y evaluando posteriormente su eficiencia. Para ello, durante el curso de Termodinámica se explicó como es el funcionamiento de una caldera y de una manera resumida se podría decir que una caldera tiene como objetivo la producción de vapor para obtener energía disponible, ya que el vapor producido contiene un alto nivel de energía interna. Esta energía puede transformarse ya sea en energía mecánica o de otro tipo.

DESCRIPTORES

Termodinámica. Eficiencia energética. Caldera. Pirómetros. Análisis Orsat.

ABSTRACT

Students of Chemical Engineering in Thermodynamics Course made a practical experience in the laboratory of Unitary Operations of the TEC Landívar. Main objective of practice consisted in analyzing operation of a boiler, measuring its principal properties and later evaluating its efficiency. During theoretical classes of the course, it was explained operation of a boiler. In a summarized way it is possible to say that a boiler's purpose is the steam production to obtain energy available, since the produced steam contains a high level of internal energy. This energy can become mechanical or another type of energy.

KEYWORDS

Thermodynamics. Energetic Efficiency. Boilers. Pyrometer. Orsat Analysis.

EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CALDERA

PRESENTACIÓN

El objetivo principal de la presente práctica consiste en medir las pérdidas de calor que se dan en una caldera utilizada para la generación de vapor y en esta forma estimar la eficiencia termodinámica del quipo. Esta práctica se realizó en la caldera Cleaver Brooks CB-100-15 del Laboratorio de Operaciones Unitarias del TEC Landívar.

Las pérdidas de calor en la caldera se dan por medio de radiación y convección. Para determinar estas pérdidas se realizaron mediciones puntuales de la temperatura en la capa exterior de la caldera, es decir de las paredes del sistema. Se utilizó para ello un pirómetro. Además, se midió la concentración de carbono presente en los gases de combustión generados por el diesel utilizado para el funcionamiento del equipo. Esta medición de los gases de combustión es necesaria para conocer la eficiencia de la caldera, ya que permite establecer la transferencia exacta de calor al agua para producir vapor.

La caldera requirió de 45 minutos de precalentamiento, para poder iniciar la práctica que consistió en tomar datos necesarios para los cálculos de la eficiencia del equipo. Una vez realizadas las mediciones y la práctica de la caldera, se procedió a desarrollar un caso de estudio, sobre los datos obtenidos, para determinar la temperatura del agua correspondiente al *make up*, la eficiencia de combustión en la caldera, la eficiencia de caldera, las libras de vapor generadas por hora junto con el costo de la generación del mismo tomando en cuenta el precio de galón de Q22, el costo de producción de vapor de 1000 lbs y por último, el factor de vaporización y su significado.

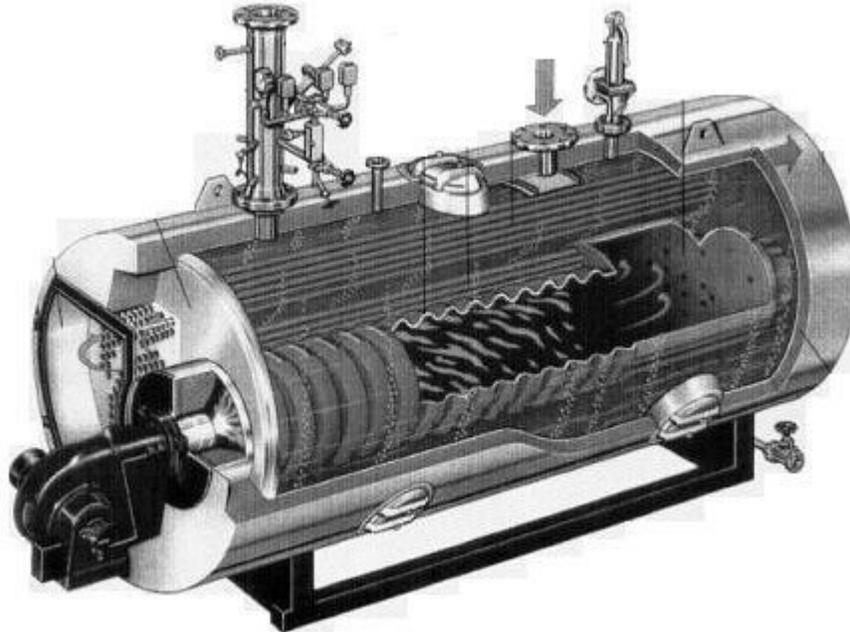
MARCO TEÓRICO

Una caldera es un dispositivo que está diseñado para generar vapor saturado. Este vapor saturado se genera a través de una transferencia de energía (en forma de calor) en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado. La transferencia de calor se efectúa mediante un proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando progresivamente su presión y temperatura. La presión, como se indicó al inicio, no puede aumentar de manera desmesurada, ya que debe permanecer constante por lo que se controla mediante el escape de gases de combustión, y la salida del vapor formado. Debido a que la presión del vapor generado dentro de las calderas es muy grande, estas están construidas con metales altamente resistentes a presiones altas, como el acero laminado.

Las calderas se clasifican por su diseño en piro-tubulares o acu-tubulares. Sin embargo, pueden ser clasificadas desde otros aspectos, que incluyen, por el tipo de materiales de que están construidos, por su aplicación, por la forma de toma de aire, por el tipo de combustible que utilizan, por la presión con que operan o por el fluido portador de calor que emplean.

En el Laboratorio de Operaciones Unitarias del TEC Landívar se cuenta con una caldera pirotubular. Se denomina caldera pirotubular porque los gases calientes, procedentes de la quema de un combustible, atraviesan unos tubos a través de los cuales circula fuego y gases incandescentes, lo que permite por convección calentar el agua que se encuentra en la parte exterior rodeando a los tubos.

Figura No. 1. Vista esquemática de una Caldera Pirotubular



Fuente: <http://tecnologiocalderas.com/images/tema1.tif>

El funcionamiento de estas calderas se podría describir de la siguiente manera. Como primer punto el combustible se quema en un hogar, en donde se lleva acabo la transmisión de calor por radiación. De la quema del combustible se obtienen gases resultantes los cuales se les hace circular a través de los tubos que constituyen el haz tubular de la caldera, y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección.

Los componentes fundamentales del dispositivo caldera, son:

- *Agua de alimentación:* Es el agua de entrada que ingresa al sistema, generalmente constituye agua de pozo o agua de red. Esta agua se almacena en una cámara la cual se diseña de manera que el nivel del agua sobrepase a los tubos o conductos que contienen los gases de combustión. Esto se hace con el objetivo de que los gases de combustión transfieran parte de su energía al agua de alimentación, y así se acelere su conversión en vapor.
- *Agua de condensado:* Es el agua que proviene del estanque condensador y que representa la calidad del vapor.
- *Vapor seco:* Vapor de óptimas condiciones. Se almacena en una cámara, separado del agua en suspensión que aún no ha sufrido evaporación.

- *Vapor húmedo*: Vapor con arrastre de espuma proveniente del agua de alcalinidad elevada.
- *Condensador*: Sistema que permite condensar el vapor formado por el sistema.
- *Desaireador*: Es el sistema que expulsa los gases de combustión a la atmósfera .
- *Purga de fondo*: Evacuación de lodos y concentrado en el fondo de la caldera, por ejemplo: residuos sólidos provenientes de agua "dura".
- *Purga de superficie*: Evacuación de sólidos disueltos desde el nivel de agua de la caldera.

PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN

Los elementos que constituyen los productos de la combustión básicamente son: carbono, azufre, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno. La combinación de estos elementos origina una gran variedad de compuestos producto de la combustión, tales como anhídrido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de carbono, vapor de agua, cenizas, anhídrido sulfuroso e hidrocarburos no quemados, que forman los productos de la combustión.

El análisis de determinados productos de combustión se efectúa mediante el *Análisis Orsat*, a partir del cual se determina la relación aire – combustible, y consecuentemente el grado de efectividad en la combustión.

La determinación de la composición de la mezcla de gases de combustión se efectúa con la ayuda de un *Aparato Orsat*, el cual atraviesa la muestra a través de una solución líquida que absorbe y remueven componentes específicos. El volumen se mide antes y después de la absorción. La disminución en el volumen , luego de la absorción, constituye el porcentaje de gas presente. A continuación se presenta el Aparato Orsat que se utilizó en esta práctica.

Figura No. 2. Aparato ORSAT para Análisis de Gases de Combustión



Fuente: http://www.energia.inf.cu/iee-mep/_borders/Firyte.jpg

Este equipo emplea el método "ORSAT" de medida volumétrica efectuando la absorción de la muestra de gas por medio de una solución química que actúa como indicadora de la concentración del gas analizado. El sistema consta de dos equipos, uno para la medición del O₂ y otro para la medición del CO₂, además cuenta con una bomba opacimétrica para el análisis del negro de humo de los gases con una escala de Bacharach para calcular el nivel de pérdidas por incombustión

PIROMETRÍA

El pirómetro es un instrumento que intercepta y mide la radiación térmica, sin tener contacto directo con la superficie del objeto. El pirómetro consiste en un sistema óptico y un detector. El sistema óptico focaliza la radiación térmica en el detector, permitiendo que se efectúe la medición correspondiente.

Figura No. 3. Pirómetro



Fuente: <http://www.donspeed.com/images/50640.jpg>

PÉRDIDAS DE CALOR

El sistema caldera, puede tener *pérdidas por radiación, convección y por purga*. Las pérdidas por radiación las constituyen el calor que se escapa a través de la superficie de las paredes. Cuando se disipa calor por medio de fluidos con distinta temperatura se denomina convección. Las pérdidas por purga están constituidas por el calor que escapa al eliminar los sólidos o impurezas disueltos en el agua, y que se han acumulado dentro de la caldera.

FACTOR DE VAPORIZACIÓN DE CALDERA

Este factor corresponde a la cantidad de calor que debe ser absorbido por un kilogramo de agua líquida alimentada a 100°C para convertirse en un kilogramo de vapor de agua a 100°C.

$$\text{Factor Vaporización} = \text{Entalpía vapor a } 100^{\circ} \text{ C} - \text{Entalpía agua líquida a } 100^{\circ} \text{ C}$$

EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN

Es una medida de la efectividad en que el calor obtenido a partir de la combustión del combustible se convierte en calor utilizable para la caldera. Esta eficiencia se puede determinar a partir de la temperatura de la chimenea de gases de combustión, así como de la concentración de la concentración de oxígeno o dióxido de carbono en los mismos, apoyándose en gráficas ya calculadas de eficiencia versus temperatura y composición del oxígeno en los gases de combustión. Ver Anexo No. 1.

EFICIENCIA DE CALDERA

Corresponde al porcentaje o razón de la cantidad de vapor producido en una caldera a partir de la cantidad de calor administrado por el combustible quemado. La eficiencia de una caldera, es la relación entre la energía absorbida para la evaporación o generación de vapor (Q salida) y la suma de energías introducidas al proceso (Q entrada).

$$Q \text{ salida} / Q \text{ entrada} = \text{Eficiencia}$$

El diferencial entre ambos, es la energía perdida del proceso (calor expulsado a la atmósfera).

$$Q \text{ entrada} - Q \text{ salida} = \text{Pérdida}$$

Una caldera, en términos genéricos, es un intercambiador de calor ya que por un lado se adiciona fuego y gases de combustión y por el otro lado agua que se calienta y evapora. La eficiencia de la caldera, es la eficiencia del proceso de intercambio de calor.

JUSTIFICACIÓN

Este laboratorio del Curso de Termodinámica Básica realiza un análisis termodinámico para establecer la eficiencia de operación de una caldera del tipo industrial. Se desarrolló en el Laboratorio de Operaciones Unitarias del TEC Landívar, utilizando equipo de apoyo complementario y posteriores cálculos operacionales aplicando de las leyes termodinámicas para establecer la eficiencia termodinámica del equipo.

OBJETIVOS

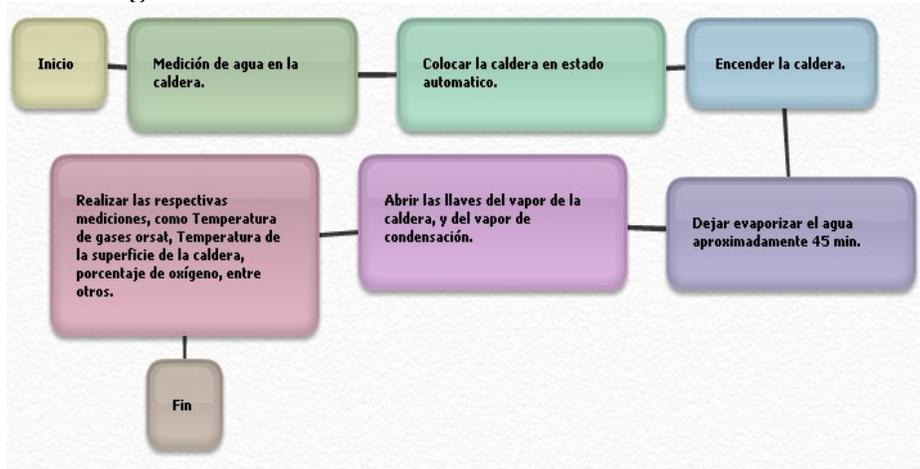
General. El objetivo general de la práctica es obtener la eficiencia de operación de la caldera del laboratorio de Operaciones Unitarias del TEC Landívar, evaluando la cantidad de calor liberado y estableciendo la calidad de los gases de combustión.

Específicos

1. Medir la temperatura de las paredes del sistema

2. Medir la composición de los gases de combustión para determinar la eficiencia de combustión
3. Medir la temperatura del agua correspondiente al *make up*
4. Establecer la cantidad de vapor producido por hora
5. Determinar eficiencia de operación de la caldera
6. Establecer el costo de producción de vapor

Figura No.4. Procedimiento de la Práctica de Laboratorio



Fuente: Magda Carranza, integrante del grupo

RECURSOS

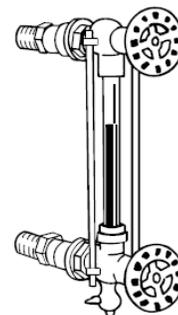
- Pirómetro Digital
- Equipo para análisis de gases ORSAT
- Termómetro digital
- Caldera pirotubular Marca Cleaver Brooks 15Hp
- Combustible
- Agua de Alimentación para caldera
- Casco de seguridad
- Bata y anteojos de seguridad

PROCEDIMIENTO

A. Encendido y arranque de caldera

1. Abrir la llave de alimentación de agua a la caldera, aproximadamente a la mitad del contenido inicial.

Figura No.5. Prototipo del medidor del nivel de agua utilizado en la caldera analizada



Vidrio de nivel dos tercios lleno

Fuente: <http://www.mcdonnellmiller.com/spanishfiles/Soperacion.pdf>

2. Abrir las llaves de paso de purga y de recirculado

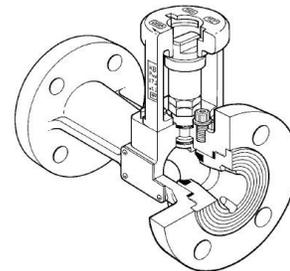


Figura No.6. Válvula manual de purga de caldera

Fuente: <http://www.spiraxsarco.com/es/pdfs/TI/p405-12.pdf>

2. Encender la caldera. El *switch* se encuentra en el panel principal de la caldera.
3. Colocar el interruptor de funcionamiento de la caldera en “Automático”.
4. Comprobar la generación de voltaje en la ventanilla de la cámara de combustión.
5. Esperar de 45 minutos a una hora hasta que se complete ciclo de encendido y apagado automático de caldera y se genere vapor dentro de la misma.

B. Mediciones de temperatura

Utilizando un pirómetro digital, medir la temperatura de la carcasa en diferentes puntos de la misma. Anotar las temperaturas.

C. Análisis Orsat

1. Utilizando un equipo para análisis de gases, tomar la bureta para la medición de O₂ y colocar su nivel en cero.
2. Comprobar que la bureta tiene líquido para absorción de O₂.
3. Conectar la manguera con bulbo a la bureta de O₂.
4. Introducir la terminal metálica de la manguera dentro del orificio de la chimenea.
5. Comprimir 10 veces el bulbo de la manguera para sustraer el gas de la chimenea.
6. Dar tres vueltas completas a la bureta de medición. Esto se hace para provocar la absorción del O₂ por el líquido.
7. Leer la cantidad de O₂ que marca la bureta y anótela.

C. Determinación de la eficiencia de combustión

1. Utilizando un termómetro digital, medir la temperatura de los gases de chimenea introduciendo la aguja dentro del orificio de la chimenea. Anotar la temperatura.
2. Utilizando la gráfica de eficiencia de combustión, la cual relaciona la eficiencia de combustión con respecto al porcentaje de oxígeno y la temperatura de los gases de chimenea, leer la eficiencia correspondiente a los valores tomados y anotarlos

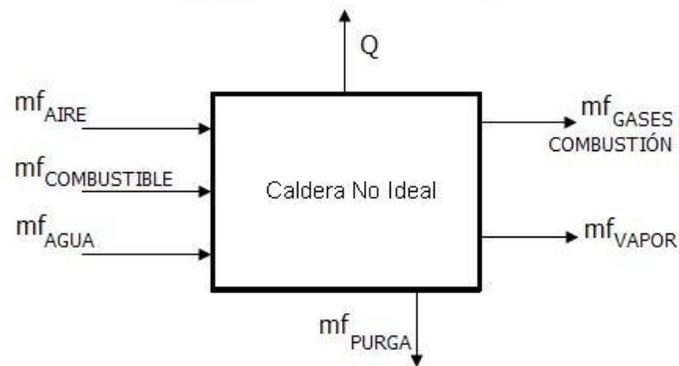
D. Determinación de la eficiencia de Caldera y Factor de Vaporización

Calcular la eficiencia de caldera hallando la diferencia entre el porcentaje de eficiencia de combustión y los porcentajes de pérdidas de calor (radiación y convección) y las pérdidas por la purga.

CALCULOS

Comprendido de manera conceptual el funcionamiento de una caldera, se muestra en un diagrama de bloques la relación de flujos a través del equipo:

Figura No. 7. Flujos en el sistema Caldera No Ideal



Fuente: Fernando González, integrante del grupo

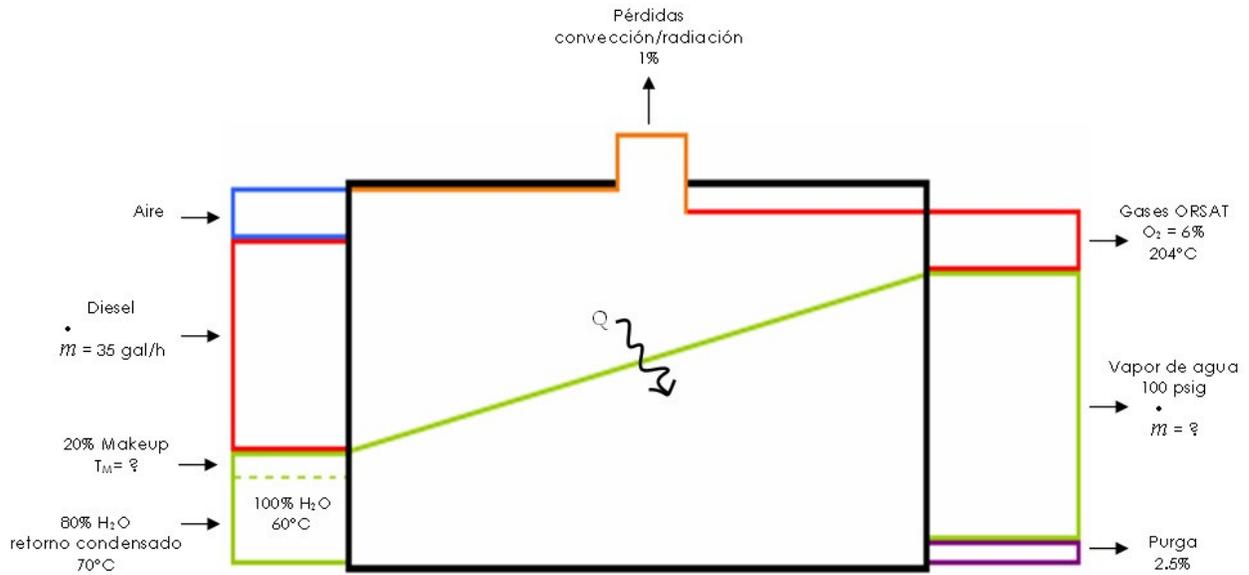
Se puede intuir empíricamente, de manera analítica y gráfica, cuál es el funcionamiento de una caldera no ideal. En comparación con una caldera ideal, la diferencia radica en que existen pérdidas de calor por radiación, convección y/o purga.

Para realizar el análisis de eficiencia se debe tener presente que en la actualidad no existen calderas, y en general maquinaria, que tenga una eficiencia del 100 % puesto que se dan pérdidas de calor, en concordancia con la segunda ley de la termodinámica. Ver Diagrama de Sankey a continuación. El objetivo de la práctica se enfoca en el análisis de eficiencia de una caldera no ideal.

El procedimiento analítico consiste en:

1. Calcular la eficiencia de la caldera. Las pérdidas por radiación y convección y las pérdidas por purga deben determinarse mediante mediciones. Se estima que las pérdidas por radiación y convección tienen un valor promedio de 1%. Las pérdidas por purga se estiman en un 2.5%
2. Determinar la entalpía del vapor de agua que sale de la caldera. Se busca en las tablas de vapor la entalpía correspondiente a la temperatura y presión a las que sale el vapor.

Figura No. 8. Representación Sankey de los flujos de energía en una Caldera



Fuente: Astrid Rubio, integrante del grupo

3. Determinar la entalpía del agua que entra a la caldera. Se busca en las tablas de agua líquida la entalpía correspondiente a la temperatura y presión a las que entra el agua.
4. Calcular el factor de vaporización.

DATOS

Tabla No.1. Datos Obtenidos por medición efectuada en Parte II

Medición efectuada	Datos Obtenidos
Temperatura de Caldera	55°C±1
Temperatura Gases de Combustión	238°C±1
Gases de Combustión	Entre 2 y 3% del total de masa
Análisis ORSAT	6% de O ₂ y 10% de CO ₂ presente a 400°F
Presión del vapor de agua producido	100 psig
Temperatura del agua de alimentación	60°C
Retorno del condensado en el agua de alimentación	80% a 70°C
Consumo de diesel de la caldera pirotubular	35 gal/hr

PREGUNTAS A RESOLVER

1. Determinar la eficiencia de combustión, eficiencia de caldera, temperatura correspondiente al Makeup (T_1)
2. Determinar el flujo másico de vapor producido en lb/h
3. Si el costo del galón del Diesel es de Q22.00, ¿Cuál es el costo de 1000 lb de vapor?
4. Determinar el factor de vaporización e indicar que significa

a) Eficiencia de combustión

La eficiencia de combustión se obtiene revisando los valores de temperatura de los gases de chimenea y el porcentaje de O_2 de los mismos en gráficas específicas, proporcionadas por el instructor de laboratorio.

$$\text{Eficiencia de combustión a } 400^\circ \text{ F y } 6\% \text{ de oxígeno} = 86\%$$

b) Eficiencia de Caldera

Eficiencia de caldera = eficiencia de combustión - pérdidas por radiación/convección - pérdida por purga

$$\text{Eficiencia de caldera} = 86\% - 2.5\% - 1\% = 82.5\%$$

c) Cálculo de la temperatura del agua de alimentación

Base de cálculo: 1 kg de agua de alimentación

$$E_{\text{entrada}} = E_{\text{salida}}$$

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = m_3 h_3$$

$m_1 = 0.2 \text{ kg}$	$T_1 = ?$	
$m_2 = 0.8 \text{ kg}$	$T_2 = 70^\circ \text{C}$	$h_2 = 293.07 \text{ kJ/kg}$
$m_3 = 1 \text{ kg}$	$T_3 = 60^\circ \text{C}$	$h_3 = 251.18 \text{ kJ/kg}$

$$h_1 = (m_3 h_3 - m_2 h_2) / m_1 = (1 \text{ kg} \cdot 251.18 \text{ kJ/kg} - 0.8 \text{ kg} \cdot 293.07 \text{ kJ/kg}) / 0.2 \text{ kg}$$

$$h_1 = 83.62 \text{ kJ/kg}$$

de las Tablas de Vapor $T_1 = 19.9^\circ \text{C}$

d) Estimación de la cantidad de vapor producido

$$T_{\text{inicial}} = 60^\circ \text{C} = 140^\circ \text{F} \qquad h_{\text{inicial}} = 107.99 \text{ Btu/lbm}$$

vapor saturado

$$P_{\text{final}} = 100 \text{ psig} + 15 \text{ psig} = 115 \text{ psia} \qquad h_{\text{final}} = 1190.0 \text{ Btu/lbm}$$

$$\Delta H_{\text{vapor}} = H_{\text{final}} - H_{\text{inicial}} = (1190.0 - 107.99) \text{ Btu/lbm} = 1,082.01 \text{ Btu/lbm}$$

$$\text{Contenido energético del diesel} = 142,500 \text{ Btu/gal}$$

$$m_{\text{diesel}} = 35 \text{ gal/hora}$$

$$Q = 0.825 (142,500 \text{ Btu/gal} \cdot 35 \text{ gal/hora}) = 4,114,687.50 \text{ Btu/hora}$$

$$Q = m_{\text{vapor}} \cdot \Delta H_{\text{vapor}}$$

$$m_{\text{vapor}} = Q / \Delta H_{\text{vapor}} = (4,114,687.50 \text{ Btu/hora}) / (1082.01 \text{ Btu/lbm})$$

$$m_{\text{vapor}} = 3,802.82 \text{ lbm/hora}$$

e) Diesel requerido por 1000 lbm vapor

$$(1,000 \text{ lbm vapor}) (35 \text{ gal/hora}) / (3,802.82 \text{ lbm vapor/hora}) = 9.2037 \text{ gal}$$

$$\text{Costo} = (Q \text{ 22/ gal diesel}) * 9.2037 \text{ gal diesel} = Q \text{ 202.48}$$

CONCLUSIONES

1. La caldera es un sistema que cumple los principios de la primera ley de la termodinámica, ya que la energía utilizada para el calentamiento del agua proviene de una combustión. Así mismo, la energía que no se pudo utilizar en el calentamiento del agua se pierde en forma de calor por radiación y convección, en los gases de combustión y agua de purga como conducción. La energía no utilizada no se destruye.
2. La caldera es un sistema que opera bajo lo establecido por la segunda ley de la termodinámica, menor al 100% de eficiencia, debido a distintas pérdidas durante el proceso. La más importante se debe a la diferencia de temperaturas entre la superficie de la caldera (fuente aproximadamente a 55°C) y la temperatura del ambiente (sumidero a 23°C), lo cual crea una pérdida de energía en forma de calor.
3. El calor liberado por la caldera al ambiente es de 4,114,687.50 Btu/hora
4. Las condiciones de la caldera no fueron ideales debido a las pérdidas de calor y purga. Al haber irreversibilidades se redujo la generación de vapor de agua, teniendo como resultado una eficiencia térmica de 82.5%.
5. Se necesitaron 9.2037 galones de diesel para producir 1,000 lbm de vapor, con un costo total de Q202.48
6. La producción de vapor por hora es equivalente a 3,802.82 lbm

RECOMENDACIONES

1. Para lograr un mejor aprovechamiento de la energía que se está perdiendo en forma de calor por convección en el sistema, específicamente en los gases de combustión, se

pueden utilizar estos gases para un pre-calentamiento de alguno de los flujos de masa entrantes a la caldera, ya sea del agua líquida nueva o del make-up.

2. La disminución de las pérdidas por purga reducen las pérdidas de energía, ya que la temperatura del líquido de purga es la misma que la del vapor generado en la caldera.
3. Para lograr una mayor eficiencia de caldera, se puede utilizar un combustible que contenga mayor cantidad energética, para reducir las pérdidas por purga.
4. Se debe procurar que la combustión sea completa, ya que de otra forma se está perdiendo energía que se podría utilizar para el calentamiento de agua en caldera.
5. Se debe de observar y comprobar el correcto funcionamiento de los aparatos de medición antes de utilizarlos, ya que al obtener un dato erróneo de las temperaturas o del contenido de O_2 ó CO_2 , se estaría obteniendo un resultado inexacto acerca de la eficiencia de caldera.
6. Para el desarrollo de los cálculos es aconsejable tomar en cuenta las reglas prácticas y no solamente las reglas teóricas. Durante el manejo de aparatos en la vida real, el funcionamiento de los mismos no es exactamente como dicta la teoría (debido a irreversibilidades).
7. El costo de producción de 1000 lbm de vapor puede sufrir variaciones debido al precio del combustible, que puede aumentar o disminuir.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ing. Mario Santizo proenergia@intelnett.com, docente encargado del Laboratorio de Operaciones Unitarias del TEC Landívar, por el apoyo brindado para la realización de esta practica. Sus explicaciones, instrucciones y sugerencias en base a su experiencia profesional han hecho posible la realización de la presente experiencia académica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONAE. “Consejos para ahorrar energía”. Eficiencia de Combustión. Disponible en: <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent?/3850/2/Agosto2005.pdf>

DOS CHIVOS. “Conceptos básicos sobre plantas de vapor”. Termodinámica: Eficiencia de Caldera. Disponible en: <http://www.doschivos.com/trabajos/tecnologia/730.htm>

ESPAELEC. “Termómetro Digital”. Disponible de Internet: espaelec.com.ar/imagenes/ms6610.jpg

GUERRERO, RAÚL. “Relaciones Fundamentales”. Factor de Vaporización. Disponible en Internet: fim.umich.mx/licenciatura/maestros/raul/presentaciones/relaciones%20fundamentales.ppt

GUERRERO, RAUL. “Relaciones Fundamentales”. Generadores de vapor. Disponible en: <http://www.fim.umich.mx/licenciatura/maestros/raul/presentaciones/RELACIONES%20FUNDAMENTALES.ppt>.

INDUSTRIAL TIJUANA. “Cómo calcular la Eficiencia de Combustión por medio de los Gases de Combustión”. Disponible en: www.industrialtijuana.com/pdf/C-2.pdf

MONOGRAFÍAS.COM. “Análisis Orsat”. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos/orsat/orsat.shtml>

POWERMASTER. “Eficiencia”. Disponible en: http://www.powermaster.com.mx/gt_eficiencia.htm

SISTEAGUA. “Calidad de Agua para Generadores de Vapor”. Disponible en: <http://www.econext.com.mx/pdf/CALIDAD%20DE%20AGUA%20PARA%20GENERADORES%20DE%20VAPOR.pdf>

SPIRAX-SARCO. “Válvula manual de purga de caldera KBV 20”. Disponible en: <http://www.spiraxsarco.com/es/pdfs/TI/p405-12.pdf>

TODOPRODUCTIVIDAD. “Eficiencia energética en calderas de vapor”. Disponible en: <http://todoproductividad.blogspot.com/2008/04/eficiencia-energtica-en-calderas-de.html>

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. “Calderas”. Disponible en: <http://www.diee.unican.es/Aire%20acondicionado/008%20Calderas.pdf>

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR. “Práctica de Caldera. Laboratorio de Operaciones Unitarias”. Disponible en: <http://www.geocities.com/CollegePark/Library/6086/caldera.html>

WIKIPEDIA. “Calderas”. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Caldera_\(artefacto\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Caldera_(artefacto))

Fuentes consultadas para imágenes:

Caldera. Disponible en Interne: tecnologiocalderas.com/images/tema1.tif

Casco de seguridad. Disponible en Internet: soloepis.com/images/casco-jsp-mark7.jpg

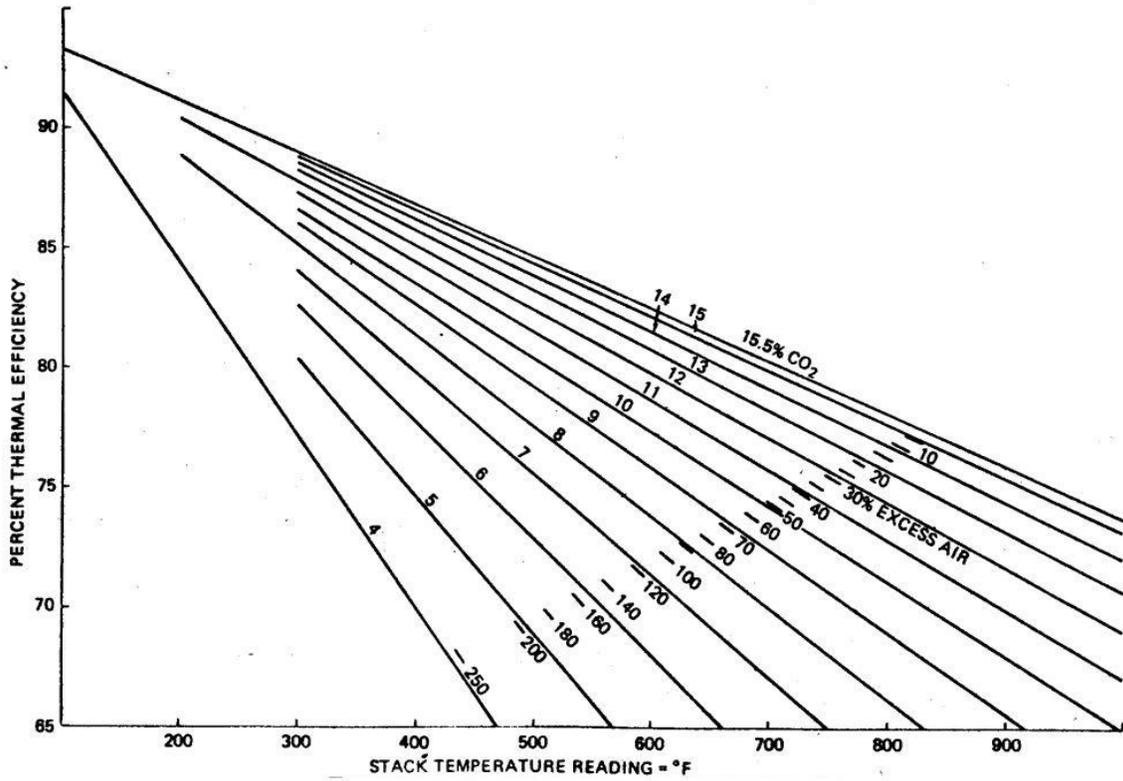
Equipo para análisis de gases (Orsat). Disponible de Internet: energia.inf.cu/iee-mep/_borders/Firyte.jpg

Pirómetro. Disponible de Internet: alltronicsperu.com/catalog/images/pistola%209975%20IRT.JPG

ANEXOS

ANEXO No. 1

Figura No. 9. Eficiencia de Combustión del Diesel



Fuente: Industrial Tijuana

ANEXO No.2.

Tabla No. 2. Procedimiento de Arranque de Caldera
Laboratorio de Operaciones Unitarias TEC Landívar

		<p>Verificar que exista suficiente combustible para realizar las prácticas. El nivel promedio recomendado es de 50 galones de combustible.</p>
<p>El agua de alimentación debe ser tratada químicamente. Para ello, deben abrirse las válvulas que alimentan al suavizador, y se debe cerrar la válvula de bypass del mismo.</p>		
	<p>Una vez que el agua de alimentación ha empezado a circular por el suavizador, se arrancan los tres interruptores de la izquierda de la caja de control. Estos interruptores alimentan eléctricamente a la caldera.</p>	
<p>Ya con corriente eléctrica circulante, se conecta el interruptor de operación automática. Este sistema de operación permite que el cerebro electrónico de la caldera realice todas las operaciones necesarias para la protección del equipo, PERO NO IMPLICA QUE LOS OPERADORES SE DESENTIENDAN DE LA CALDERA.</p>		
	<p>Previo al arranque definitivo del equipo, se debe abrir la válvula de purga de aire. La finalidad de esta válvula es eliminar la mayor cantidad de aire que pudiese estar dentro de la caldera, a fin de optimizar la cantidad de vapor generada. NOTA: CUANDO LA CALDERA YA ESTA OPERANDO, ESTA VALVULA DEBE CERRARSE AL MOMENTO EN QUE EMPIEZA A SALIR VAPOR POR ELLA.</p>	
<p>Ahora debe revisarse el nivel de agua. ESTE NO DEBE SER SUPERIOR AL QUE SE INDICA EN LA FOTOGRAFIA. En caso contrario, la caldera está programada para no arrancar.</p>		

Tabla No. 2. Procedimiento de Arranque de Caldera
Laboratorio de Operaciones Unitarias TEC Landívar (continuación)

	<p>En caso de que el nivel de agua sea muy alto, debe abrirse la válvula principal de purga (mostrada en esta fotografía).</p>
<p>Una vez que la válvula principal de purga está abierta, se abren las válvulas auxiliares, las cuales dejan salir agua de cada uno de los dos compartimientos principales de la caldera. NOTA: estas dos válvulas deben abrirse totalmente durante unos cuantos segundos para que la purga sea óptima.</p>	
	<p>Otro paso muy importante de seguridad es revisar que los medidores de nivel de agua estén activados y "reseteados" a su valor original. Para verificar esto, se presiona el botón que cada uno de ellos tiene en su parte posterior (mostrado en la fotografía).</p>
<p>SOLAMENTE CUANDO TODOS LOS PASOS ANTERIORES SE HAN SEGUIDO CUIDADOSAMENTE SE ARRANCA LA CALDERA CON EL INTERRUPTOR MOSTRADO EN LA FIGURA.</p>	
	<p>A partir de este momento, la operación de la caldera será controlada automáticamente por el cerebro electrónico de la misma. NOTA: ESTO NO IMPLICA QUE LOS OPERADORES NO ATIENDAN LA OPERACION DEL EQUIPO.</p>
<p>Finalmente, cuando la caldera ha alcanzado su presión de operación (125 psia), lo cual se detecta cuando cesa la combustión, se abre lentamente la válvula principal del equipo para alimentar las unidades que operarán.</p>	
<p>Para apagar la caldera, se deben seguir los siguientes pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Apagar el interruptor principal (debe esperarse a que la caldera no esté en proceso de combustión). 2.- Abrir la llave de purga de las líneas de vapor, y esperar hasta que todo el vapor haya sido eliminado de las mismas. 3.- Cerrar la llave principal de vapor de la caldera. 4.- Poner el interruptor de operación en "Manual". 5.- Cerrar los interruptores del tablero eléctrico principal. 	

Fuente: <http://www.geocities.com/CollegePark/Library/6086/caldera.html>