



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE GUANTANAMO  
FACULTAD AGROFORESTAL DE MONTAÑA  
CENTRO UNIVERSITARIO MANUEL TAMES**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO EN PROCESOS AGROINDUSTRIALES**

**TÍTULO:** Optimización del rendimiento energético de la caldera de la UEB Derivados  
“Argeo Martínez”

**AUTOR:** Inolvis Justiz Columbie

**TUTORES:** MSc. Pedro A. Delisle Ybonet

**Ing. Alberto Cutiño Aguilera**

**GUANTÁNAMO**

**2013**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a todas las personas que contribuyeron y estuvieron presentes en la noble tarea de educarme e involucrarme buenos valores, esfuerzos, dedicación y espíritu de sacrificio a lo largo de mi carrera, y en especial quiero agradecer:

A mi madre, esposa e hijastro Mayler Manet Simón por su constante preocupación.

Al colectivo de profesores de la carrera de Procesos Agroindustriales, en especial a los profesores Anielis García González, René Rico, Esteban González Rodríguez y Antonio Jean.

Al MSc. Lic. Pedro A. Delisle Ybonet, profesor y tutor, que ha sido guía durante estos años de mi formación como profesional.

Al Ing. Químico Alberto Cutiño Aguilera por su gran ayuda y experiencia transmitida.

A la Ing. Mireya Frómeta Hernández, por su desinteresada asesoría en la elaboración del Trabajo de Diploma.

## **DEDICATORIA**

A mi madre, a mi esposa e hijastro por su preocupación

Al colectivo de profesores de la Carrera de Ingeniería en Procesos Agroindustriales.

A mis tutores, MSc. Lic. Pedro A. Delisle Ybonet y al Ing. Alberto Cutiño Aguilera la dedicación de ambos y para que este trabajo fuera posible y la Ing. Mireya Frómeta Hernández, especialista en fermentación de la UEB “Argeo Martínez” por su valiosa ayuda en los momentos más difíciles.

A todos aquellos que de una forma u otra contribuyeron a que mi esfuerzo diera este resultado.

## **RESUMEN**

El trabajo se realizó en el área de generación de vapor de la UEB de derivados de Argeo Martínez, provincia de Guantánamo, donde existen deficiencias en el proceso de generación de vapor, las cuales fueron detectadas durante un diagnóstico efectuado a dicha empresa. Se emplearon durante el estudio varios métodos teóricos como histórico lógico, análisis- síntesis, análisis documental y bibliográfico, observación directa, así como cálculos matemáticos para la valoración de la eficiencia de la caldera de esa unidad de producción.

Se evaluó la tecnología empleada sobre la base de las normas técnicas nacionales e internacionales establecidas y se corroboró la existencia real de ciertas deficiencias que provocan pérdidas económicas considerables durante el proceso de generación de vapor. Una vez conocidas las causas de las pérdidas que ocurren en el Área de la Caldera de la UEB "Argeo Martínez", mediante este estudio, se llegó a la conclusión de que para lograr optimizar el rendimiento energético de la caldera de la UEB Derivados Argeo Martínez, se debe tener en cuenta el conjunto de mejoras técnicas que propone el autor, basado en las normas de carácter internacional ya mencionadas.

## **SUMMARY**

The work was done in the area of steam generation BSU derivatives "Argeo Martinez", Guantánamo Province, where there are deficiencies in the steam generation process, which were identified during diagnosis made to that company. Were used during the study several theoretical and logical historical methods, analysis-synthesis, documentary and bibliographic analysis, direct observation, and mathematical calculations for assessing the efficiency of the boiler that production unit.

The technology was evaluated on the basis of national and international technical standards established and confirmed the real existence of certain deficiencies that cause significant economic losses during steam generation. Once you know the causes of the losses that occur in the area of the caldera of BSU "Argaeo Martinez", through this study, we concluded that to achieve optimum energy efficiency boiler of BSU Derivatives "Argaeo Martinez", you must take into account all technical improvements proposed by the author, based on international standards mentioned above.

## ÍNDICE

INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
I.1 Antecedentes	6
I.2- Breve Historia de las calderas.	6
I.3- DEFINICIONES	7
I.3.7- PRINCIPALES TIPOS DE CALDERAS	10
I.3.8- Especificaciones técnicas del combustible utilizado.	12
I.3.8.1- Composición química de los combustibles:	13
I.3.8.1.2- Valores calóricos de los derivados del petróleo	14
I.4- Funcionamiento de las calderas	14
I.5- El problema de la incrustación.	15
I.6- Soluciones.	17
I.7- Afectaciones en la eficiencia de las calderas.	18
1.8- DRENADO DEL CONDENSADO (purgadores de condensado o trampas de vapor).	19
II. MATERIALES Y METODOS	21
II. 1- Metodología empleada.	21
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
III.1.- Control de la Calidad	22
III.2- Caracterización de la UEB de Derivados Argeo Martínez	23
III. 3- Diagnóstico realizado al área de generación de vapor.	25
III.4- Evaluación de la eficiencia energética actual durante el proceso de generación de vapor.	26
III.4.1- Datos sobre la Sala de Caldera:	27
III.5- Cálculos de las pérdidas de calor	28
III.6- Valoración económica	37
CONCLUSIONES	39
RECOMENDACIONES	40

## INTRODUCCION

Las necesidades humanas se pueden satisfacer solamente a través del crecimiento industrial y esto se apoya grandemente en las empresas generadoras de electricidad y otras empresas de procesos. El vapor se utiliza en casi todas las industrias y los generadores de vapor y las calderas recuperadoras de calor son vitales para las plantas de potencia y de proceso y es por ello que las calderas forman una parte esencial de cualquier planta de potencia o sistema de cogeneración. El horno o cámara de combustión es considerado el corazón de la caldera y el quemador es un componente clave en las aplicaciones de la combustión industrial, siendo muy amplio el campo de la combustión y toca, directa o indirectamente, casi todos los aspectos de nuestras vidas. ([http://www.ecured.cu/index.php/ \"Calderas de vapor\"](http://www.ecured.cu/index.php/\))

Las calderas de vapor son unas de las maquinas industriales más importantes que se pueden encontrar en todo el mundo y están diseñadas para generar vapor saturado. Las calderas, en sus vertientes de vapor y agua caliente, están ampliamente extendidas tanto para uso industrial como no industrial, encontrándose en cometidos tales como, generación de electricidad, procesos químicos, calefacción, agua caliente sanitaria, etc. Estos ejemplos muestran la complejidad que puede tener una caldera y que haría muy extenso la descripción de los elementos que se integran en ellas. ([http://www.ecured.cu/index.php/ \"Calderas de vapor\"](http://www.ecured.cu/index.php/\))

Debido a las amplias aplicaciones industriales que tiene el vapor, principalmente de agua, las calderas son muy utilizadas en la industria para generarlo para aplicaciones como:

- En hospitales, donde es común encontrar calderas, las cuales generan vapor para esterilizar los instrumentos médicos y de igual forma en los hoteles para las lavanderías (planchas de formas y de rodillo y secadoras de ropa), y en la cocina en las marmitas, cocederas de alimento y hornos de cocción a vapor y para calentar el agua de duchas y bañeras. ([http://www.ecured.cu/index.php/ \"Calderas de vapor\"](http://www.ecured.cu/index.php/\))
- En los Ingenios azucareros se usan las Calderas de vapor para cocer el jugo extraído de la caña y procesar el mismo. ([http://www.ecured.cu/index.php/ \"Calderas de vapor\"](http://www.ecured.cu/index.php/\))

- En las centrales eléctricas las calderas producen vapor para mover turbinas y generar electricidad. ([http://www.ecured.cu/index.php/“Calderas de vapor”](http://www.ecured.cu/index.php/“Calderas_de_vapor”))
- Para calentar otros fluidos, como por ejemplo, en la industria petrolera, donde el vapor es muy utilizado para calentar petróleos pesados y mejorar su fluidez (Thomasset, Carlos W.)

Es común la confusión entre caldera y generador de vapor, pero su diferencia es que el segundo genera vapor sobrecalentado. (Thomasset, Carlos W.)

En los generadores de vapor tienen lugar enormes pérdidas de energía utilizables y esto, junto con el enorme potencial de ahorro de energía que puede derivarse de su diseño y funcionamiento correcto, nos señala la necesidad de profundizar y actualizar los conocimientos para optimizar el rendimiento energético de las calderas. (Thomasset, Carlos W.)

En la actualidad, la principal fuente de combustible líquido es el fuel oil pesados, cada día más degradados. Los principales problemas que se generan en las plantas al quemar este tipo de combustible son: Reducción de la eficiencia técnica; Deterioro de los materiales metálicos de los generadores de vapor y Emisión de contaminantes. (Thomasset, Carlos W.)

La biomasa actualmente se está convirtiendo en todo el mundo en el gran recurso de las empresas que necesitan productos vegetales durante sus procesos de producción, por ejemplo, las industrias alimentarias. Estos procesos generan residuos vegetales, que hasta ahora han supuesto una molestia para el empresario, que a veces tiene que pagar para liberarse de ellos. Muchas empresas de este sector están comenzando a optar por calderas de biomasa industriales en las que pueden combustionar sus residuos y producir energía para esos mismos procesos productivos. La empresa escocesa que fabrica el conocido whiskey Johnny Walker y el vodka Smirnoff, ha construido una destilería que aprovecha los residuos vegetales resultantes en materia prima para la producción de electricidad y de calor para la factoría. En España, los empresarios vinateros y los aceiteros utilizan las podas de la vid y el olivo, el orujillo y los huesos de aceituna como materia prima para sus calderas industriales. ([www.soliclima.com](http://www.soliclima.com))

El incremento de la generación de electricidad en las fábricas de azúcar de caña (Centrales azucareros o ingenios) de Cuba y su entrega a la red nacional adquiere una importancia estratégica dada la actual tendencia alcista u oscilatoria de los precios del combustible convencional no renovable y los efectos de la crisis mundial (César Sánchez E.).

Al ocurrir en 1975 en el país un excesivo consumo de petróleo en la fabricación de azúcar, comenzaron a ejecutarse una serie de medidas para ahorrar los combustibles convencionales mediante la sustitución gradual de “fuel-oíl” por la biomasa de la caña de azúcar (bagazo). Actualmente, el esquema energético de los centrales de Cuba se basa principalmente en la combustión de bagazo para hacer funcionar los generadores de vapor (calderas) aunque existen algunos que queman dos tipos de combustibles (César Sánchez E.).

Los antecedentes demuestran que el aprovechamiento energético del bagazo (su uso integral y eficiente) permite obtener en una zafra el equivalente de 400 kg de “fuel-oíl” por cada tonelada de azúcar producida. Esto ha posibilitado que la industria azucarera de Cuba se autoabastezca de electricidad en la casi totalidad de las provincias del país (César Sánchez E.).

Sin embargo es notorio destacar, que la eficiencia en el aprovechamiento del calor generado durante la combustión del bagazo y su transferencia al agua para generar vapor puede ser mejorada de forma significativa mediante el uso de estrategias de control más efectivas de los generadores de vapor utilizados en los centrales cubanos, entre los que se destaca el generador de vapor “Reto GV-45- 18” (César Sánchez E.).

Es una prioridad actualmente en Cuba la Política de Energética para la recuperación económica en que se encuentra enfrascado el país, constituyendo uno de los pilares de los lineamientos del VII Congreso del Partido Comunista de Cuba, a fin de lograr con éxito esta recuperación. Esto se refleja en el lineamiento # 253 que expresa: “Perfeccionar el trabajo de planificación y control del uso de los portadores energéticos, ampliando los elementos de medición y la calidad de los indicadores de eficiencia e índices de consumo establecidos”, de modo que es un compromiso de

todos contribuir a esta encomienda. Por ello la UEB de derivados de “Argeo Martínez”, dando cumplimiento a esta prioridad, aprovecha el vapor generado en la caldera para la producción de electricidad y así durante determinados períodos se desconecta de la Red Nacional.

No obstante, la UEB de derivados de Argeo Martínez, provincia de Guantánamo presenta en la actualidad los siguientes inconvenientes que imposibilitan la optimización de la eficiencia energética de la caldera de vapor:

1. Existe una apreciable cantidad de metros lineales de las redes de vapor sin aislamiento.
2. También es apreciable la cantidad de tubos taponeados en el calentador de vino.
3. Existen salideros de vapor.
4. En el área de la caldera (donde se genera el vapor) existen las siguientes dificultades:
  - a) La caldera posee más de 15 años de explotación.
  - b) Existen salideros de petróleo y de vapor.
  - c) Por la tapa del frente de la caldera hay salideros de los gases que van a la chimenea.
  - d) Deficiencias en las juntas de las tapas delantera y trasera de la caldera.
  - e) Los tubos de fuego presentan incrustaciones por las partes interior y exterior.
  - f) La bomba del quemador encargada del bombeo de fuel-oil hacia el interior del hogar ha presentado problemas.
  - g) Existe problema con el control Mobrey, que es el encargado de darle la señal al programador eléctrico y este a la bomba.

Todo lo anteriormente planteado conlleva al siguiente:

**Problema:**

Deficiencias técnicas en el proceso de generación de vapor en la UEB de Derivados Argeo Martínez que afectan el rendimiento energético de la caldera.

## **Objeto**

La generación de vapor en la UEB de Derivados Argeo Martínez

## **Objetivo General**

Optimizar el balance energético durante el proceso de generación de vapor en la UEB de derivados

## **Objetivos Específicos**

- Realizar un diagnóstico sobre el área de generación de vapor
- Evaluar la eficiencia energética actual durante el proceso de generación de vapor.
- Proponer variantes tecnológicas para la optimización del proceso de generación de vapor.

## **Hipótesis**

La optimización tecnológica de la generación de vapor permite mejorar el rendimiento energético de la caldera durante la producción de alcoholes y aguardientes.

## **CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

### **I.1 ANTECEDENTES**

Según información encontrada en la bibliografía consultada, en diferentes partes del mundo desde que se han empleado las calderas de vapor con fines productivos a gran escala, se han manifestado disímiles problemas que han incidido negativamente en la eficiencia de las calderas, por lo que se han realizado muchos estudios para analizar las causas de estos problemas, surgiendo así métodos y procedimientos a aplicar para lograr minimizar estos daños y elevar la eficiencia energética de las calderas.

### **I.2- BREVE HISTORIA DE LAS CALDERAS.**

Cuando James Watt observó que se podría utilizar el vapor como una fuerza económica que reemplazaría la fuerza animal y manual, se empezó a desarrollar la fabricación de calderas, hasta llegar a las que actualmente tienen mayor uso en las distintas industrias. (Caldera (máquina).Wikipedia®. 2013).

Las primeras calderas tuvieron el inconveniente de que los gases calientes estaban en contacto solamente con su base, y en consecuencia se desaprovechaba el calor del combustible. Debido a esto, posteriormente se les introdujeron tubos para aumentar la superficie de calefacción. Si por el interior de los tubos circulan gases o fuego, se les clasifican en calderas pirotubulares (tubos de humo) y calderas acuotubulares (tubos de agua). Hasta principios del siglo XIX se usó la caldera para teñir ropas, producir vapor para la limpieza, etc., hasta que Papin creó una pequeña caldera llamada "marmita". Se usó vapor para mover la primera máquina homónima, la cual no funcionaba durante mucho tiempo, ya que utilizaba vapor húmedo (de baja temperatura) y al calentarse, ésta dejaba de producir trabajo útil. Luego de otras experiencias, James Watt completó una máquina de vapor de funcionamiento continuo, que usó en su propia fábrica, ya que era un industrial inglés muy conocido. (Caldera (máquina).Wikipedia®. 2013).

La máquina elemental de vapor fue inventada por Dionisio Papin en 1769 y desarrollada posteriormente por James Watt en 1776. (Caldera (máquina).Wikipedia®. 2013).

Inicialmente fue empleada como máquina para accionar bombas de agua, de cilindros verticales; fue la impulsora de la revolución industrial, la cual comenzó en ese siglo y continúa el nuestro. (Caldera (máquina). Wikipedia®. 2013).

### **I.3- DEFINICIONES**

**I.3.1- Caldera:** Es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase. (Thomasset, Carlos W.)

Según la ITC-MIE-AP01, caldera es todo aparato de presión donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor (Thomasset, Carlos W).

La caldera es un caso particular de intercambiadores de calor en el que se eleva un fluido a altas temperaturas, en la cual se produce un cambio de fase. Además, es recipiente de presión, por lo cual es construida en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas (Thomasset, Carlos W).

El rendimiento de la caldera puede expresarse por algunos de los siguientes términos:

**I.3.2- Eficiencia de la caldera:** Es la relación entre el rendimiento de la unidad y el alto valor calórico del combustible (seco o en el estado en que se quema). Se expresa en porcentaje (Shields D. Carl).

- El grado de aptitud de una caldera de transferir cierta proporción del calor que recibe del fogón al agua o al vapor es la eficiencia de la caldera.
- La eficiencia de una caldera es considerada como un total obtenido de la combinación de todos sus elementos componentes.
- La eficiencia suele expresarse en porcentaje o por el término de evaporación que indica la proporción de vapor generado por libra de combustible quemado. Esto puede considerarse como evaporación real o evaporación equivalente.

El término de eficiencia tal como se aplica en las garantías de rendimiento se explica de la siguiente forma (Shields D. Carl):

- Para combustibles sólidos la eficiencia de la caldera sola es la relación entre el calor absorbido por el agua y por el vapor en la caldera por cada libra de combustible quemado en la parrilla y el valor calórico de una libra de combustible en las condiciones en que se quema.
- La eficiencia combinada de la caldera del fogón y de la parrilla es la relación entre el calor que absorben el vapor y el agua de la caldera por libra de combustible en las condiciones en que arde y el valor calórico de una libra de combustible en el estado en que se quema.
- Para combustibles líquidos o gaseosos la eficiencia combinada de la caldera, del fogón y del quemador es la relación entre el calor que absorbe el agua y el vapor en la caldera por libra o pie cúbico de combustible, el valor calórico por libra o por pie cúbico de combustible.
- La eficiencia de una caldera para combustible sólido es la misma ya sea que se trabaje a base de combustible seco o como se quema usualmente. Con frecuencia se toma en cuenta el valor calórico más bajo del combustible, debido a que el calor latente de la humedad producida por la combustión del hidrogeno del combustible no es aprovechable para la generación de vapor en la caldera.
- La eficiencia promedio de una instalación de caldera y quemador varía entre límites muy amplios porque no hay dos unidades que operen en idénticas condiciones o que den los mismos resultados.
- La determinación de la eficiencia máxima obtenible depende de los siguientes factores fijos (Shields D. Carl):
  1. Diseño de la caldera incluyendo disposición y efectividad de la superficie de calefacción según la colocación directa o indirecta de esta superficie.
    - a. Disposición y efectividad de la superficie de calefacción, según la colocación directa o indirecta de esta superficie.

- b. Volumen y forma del fogón.
  - c. Flujo del producto de la combustión a través de los ductos de pasos de la caldera.
  - d. Circulación del agua y del vapor dentro de la caldera.
2. Pérdidas internas tales como:
    - a) transferencia de calor entre las paredes de la caldera y entre las montaduras.
    - b) Pérdidas irrecuperables del calor de los gases de escape y de las cenizas.
  3. El tipo de combustible que se emplea y sus inherentes características.
  4. Proporción de la combustión en relación con el volumen del fogón y con la superficie de colección.
  5. Estabilidad de las condiciones variables.

En una instalación dada la eficiencia variará de hora en hora, de día en día y de temporada en temporada, depende de las siguientes condiciones “variables” (Shields D. Carl):

- Condiciones del combustible en el momento de ser quemado.
- El tiro, según se ha efectuado por la presión barométrica.
- El ajuste de los quemadores
- Porcentaje del exceso de aire.
- Estado de limpieza de las superficies que absorben calor
- Producción de la combustión.
- Temperatura y grado de humedad del aire para la combustión.
- Proporción de la combustión incompleta y carbón no quemado.
- Tipo de operación, ya sea continuo intermitente, encendidos y apagados frecuentes, carga alternativamente alta y baja u operación modulada.

La eficiencia puede ser precisada por uno de los siguientes procedimientos (Shields D. Carl):

En el **método directo**, que comprende la medición de la energía de entrada y la energía de salida, la eficiencia se calcula de la manera siguiente:

$$\text{Efic} = \frac{\text{Peso del vapor (Calor del vapor – Calor del H}_2\text{O de alimentación)}}{\text{Peso del combustible x Valor calórico del combustible}} \times 100 \quad (\%)$$

En el **método indirecto** se tienen que determinar las pérdidas y se calcula la eficiencia como sigue:

$$\text{Efic} = \frac{\text{Valor calórico del combustible – Pérdidas}}{\text{Valor calórico del combustible}} \times 100 \quad (\%)$$

**I.3.3- Coeficiente de combustión:** Es la proporción de combustible quemado, en libras por hora por pie cuadrado de superficie de parrilla (Shields D. Carl).

**I.3.4- Volumen de combustión:** Comprende la relación que existe entre el volumen del fogón y la unidad de la proporción de combustible, expresado en pies cúbicos por litros de combustible por hora (seco o en el estado en que se quema) (Shields D. Carl).

**I.3.5- Absorción de calor:** Es la capacidad de generación de vapor por unidad de superficie de absorción de calor, expresado en libras de vapor por pie cuadrado por hora (Shields D. Carl).

**I.3.6- Liberación de calor:** Es la proporción de energía liberada por unidad de volumen del fogón, expresado en Btu por hora por pie cúbico (Shields D. Carl).

### **I.3.7- PRINCIPALES TIPOS DE CALDERAS**

Aunque existen numerosos diseños y patentes de fabricación de calderas, cada una de las cuales puede tener características propias, las calderas se pueden clasificar

en dos grandes grupos: calderas pirotubulares y acuotubulares, algunas de cuyas características se indican en la página <http://www.buenastareas.com>, las cuales son:

**I.3.7.1- Calderas pirotubulares:** Son aquellas donde los gases calientes procedentes de la combustión de un combustible circulan por el interior de tubos, cuyo exterior está bañado por el agua de la caldera. Este tipo de caldera puede clasificarse en horizontal y vertical. (Thomasset, Carlos W.) (Anexo 1).

La Caldera Pirotubular, también es llamada Generador de Vapor Rápido y la misma tiene ventajas e inconvenientes, así como ciertas implicaciones constructivas para su funcionamiento. El combustible se quema en un hogar, en donde tiene lugar la transmisión de calor por radiación, y los gases resultantes, 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. Según sea una o varias las veces que los gases pasan a través del haz tubular, se tienen las calderas de uno o de varios pasos. En el caso de calderas de varios pasos, en cada uno de ellos, los humos solo atraviesan un determinado número de tubos, cosa que se logra mediante las denominadas cámaras de humos. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través de la chimenea (<http://www.quemadoresindustrialesriello.com/calderas-vaporizacion.html>).

#### **I.3.7.1.1- Características de las calderas pirotubulares**

Este tipo de calderas tiene las siguientes características (Thomasset, Carlos W.):

- El cuerpo de caldera, está formado por un cuerpo cilíndrico de disposición horizontal, incorpora interiormente un paquete multitubular de transmisión de calor y una cámara superior de formación y acumulación de vapor.
- La circulación de gases se realiza desde una cámara frontal dotada de brida de adaptación, hasta la zona posterior donde termina su recorrido en otra cámara de salida de humos.
- El acceso al cuerpo lado gases, se realiza mediante puertas atornilladas y abisagradas en la cámara frontal y posterior de entrada y salida de gases, equipadas con bridas de conexión. En cuanto al acceso, al lado agua se efectúa a través de la

boca de hombre, situada en la bisectriz superior del cuerpo y con tubuladuras de gran diámetro en la bisectriz inferior y placa posterior para facilitar la limpieza de posible acumulación de lodos.

- El conjunto completo, calorifugado y con sus accesorios, se asienta sobre un soporte deslizante y bancada de sólida.

**I.3.7.2- Calderas Acuotubulares:** Son aquellas donde, al contrario de lo que ocurre en las pirotubulares, es el agua el que circula por el interior de tubos que conforman un circuito cerrado a través del calderín o calderines, que constituye la superficie de intercambio de calor de la caldera. Adicionalmente, pueden estar dotadas de otros elementos de intercambio de calor, como pueden ser el sobrecalentador, recalentador, economizador, etc. (Thomasset, Carlos W.)

**I.3.7.3- Calderas de Vaporización Instantánea:** En este tipo particular, la representación esquemática podría ser la de un tubo calentado por una llama, en el que el agua entra por un extremo y sale en forma de vapor por el otro. Dado que el volumen posible de agua es relativamente pequeño en relación a la cantidad de calor que se inyecta, en un corto tiempo la caldera está preparada para dar vapor en las condiciones requeridas, de ahí la denominación de calderas de vaporización instantánea. (Thomasset, Carlos W.).

### **I.3.8- Especificaciones técnicas del combustible utilizado.**

El combustible es el elemento clave para la operación de los generadores de vapor y muy especialmente en su economía, estos se clasifican en tres grandes grupos:

- a) Combustibles sólidos (bagazo, carbón y madera).
- b) Combustibles líquidos (petróleo y sus derivados)
- c) Combustibles gaseosos (gas natural y artificial)

El análisis del combustible es necesario para determinar su poder calórico, humedad, contenido de hidrógeno, etc. También es importante a fin de valorar los problemas de depósito o almacenamiento, incrustaciones en el hogar, superficie de traspaso de calor y conducto de salida de los gases. Normalmente se conocerán los datos relativos a sus especificaciones técnicas, así como su poder calórico y composición,

es por ello que se tendrán en consideración algunas ecuaciones y tablas que en determinadas condiciones podrán ayudar en la estimación de algunas de las propiedades de los combustibles. (Hugot, E, 1974)

### 1.3.8.1- Composición química de los combustibles:

Según el sitio <http://www.ecured.cu/index.php/> “Calderas de vapor”, la composición química elemental de los combustibles queda conformada por un determinado por ciento de ciertos componentes, los cuales son los siguientes:

Carbono (C)                      Nitrógeno (N)                      Humedad (M)

Hidrogeno (H)                      Azufre (S)

Oxigeno (O)                      Ceniza (A)

Resulta importante establecer la diferencia entre las composiciones secas y húmedas de los combustibles, considerada en por ciento y sobre base húmeda, cuya ecuación sería la siguiente:

$$C + H + O + N + S + A + M = 100 \%$$

Asumiendo la composición sobre base seca sería:

$$C' + H' + O' + N' + S' + A' + M' = 100 \%$$

Los por cientos correspondientes a cada uno de estos componentes se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química de los combustibles.

COMPONENTES	FUEL-OIL	DIESEL
CARBONO	84.6	86
HIDROGENO	9.7	11.1
OXIGENO	0	0
AZUFRE	2.7	0.8
NITROGENO	1.0	1.0
CENIZA	0.5	0.1
HUMEDAD	1.5	1.0

*Fuente:* <http://www.ecured.cu/index.php/> “Calderas de vapor” (Abril/ 2013).

### **I.3.8.1.2- Valores calóricos de los derivados del petróleo** (<http://www.ecured.cu/index.php/> “Calderas de vapor”)

**Poder calórico superior (PCS):** Es la cantidad de energía en forma de calor que se desprende en la combustión, quedando finalmente el agua formada en la combustión en forma líquida a 0° C y 1 atm (Se expresa en kcal/kg o kJ/kg)

**Poder calórico inferior (PCI):** Es la cantidad de energía en forma de calor que se desprende en la combustión completa de la unidad de masa de combustible, quedando el agua finalmente en forma de vapor. (Se expresa en kcal/kg o kJ/kg.)

#### **Poderes calóricos de los combustibles sólidos y líquidos.**

Según KF Pavlov, estos se determinan por las siguientes formulas:

$P_{CS} = 9100 C + 34200 (H-O/S) - 2500 S$ , expresado en kcal/kg o kJ/kg.

$P_{CI} = 8100 C + 34200 (H-O/S) - 2500 S - 5400$ , expresado en kcal/kg o kJ/kg.

Todas las características termotécnicas expuestas sobre los combustibles permiten no sólo el cálculo de las condiciones de operación de las calderas, sino también sirven para el análisis de recomendaciones de medidas, a fin de incrementar el ahorro de portadores energéticos en las unidades (K. F. Pavlov, 1985).

#### **Valores calóricos de derivados del petróleo:**

**Fuel – Oil**  $P_{CS} = 10200$  kcal/kg de comb.     $PCI = 9700$  Kcal/kg de comb.

**Diesel**  $P_{CS} = 10\ 300$  kcal/kg de comb.     $PCI =$  Sin identificar

(K. F. Pavlov, 1985).

## **I.4- FUNCIONAMIENTO DE LAS CALDERAS**

Las calderas son artefactos que sirven tanto para climatizar una estancia como para proporcionar agua caliente a las residencias, dependiendo, claro está, de cómo se las utilice; muchos asumirán que el funcionamiento de una caldera es algo bastante complejo, pero por el contrario, estos artefactos trabajan casi de la misma manera que cualquier tipo de calefactor. Nos han acompañado por mucho tiempo demostrando siempre un gran rendimiento y funcionalidad, las podemos encontrar en

cualquier lugar del mundo transfiriendo el calor del combustible al agua para poder calentar nuestros hogares, hospitales, hoteles u otros recintos. (<http://www.quemadoresindustrialesriello.com/calderas-vaporizacion.html>).

Según Hugot, E. (1974), el principio de funcionamiento de las calderas está basado en la transferencia de calor, producida generalmente al quemarse un combustible, al agua contenida o circulando dentro de un recipiente metálico. En toda caldera se distinguen dos zonas importantes:

**a) Zona de liberación de calor u hogar o cámara de combustión:** Es el lugar donde se quema el combustible. Puede ser interior o exterior con respecto al recipiente metálico.

**Interior:** El hogar se encuentra dentro del recipiente metálico o rodeado de paredes refrigeradas por agua.

**Exterior:** Hogar construido fuera del recipiente metálico. Está parcialmente rodeado o sin paredes refrigeradas por agua.

La transferencia de calor en esta zona se realiza principalmente por Radiación (llama-agua).

**b) Zona de tubos:** Es la zona donde los productos de la combustión (gases o humos) transfieren calor al agua principalmente por convección (gases-agua). Está constituida por tubos, dentro de los cuales pueden circular los humos o el agua.

## **I.5- EL PROBLEMA DE LA INCRUSTACIÓN.**

Cuando el agua ingresa a una caldera (generador de vapor), inevitablemente transporta sólidos disueltos, sólidos en suspensión y gases, en una magnitud que depende del tratamiento al que haya sido sometida para su acondicionamiento. (E. PAUER, Ricardo).

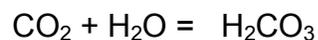
Al ingresar el agua, esta recibe un aporte intenso de calor, eleva su temperatura hasta alcanzar el punto de ebullición, se evapora y sale de la caldera. El vapor, en condiciones ideales, no contiene sólidos. Por lo tanto los sólidos contenidos en el agua que permanece en la caldera resultan cada vez más concentrados. A medida

que el vapor sale, se agrega igual cantidad de agua de alimentación, con lo que más sólidos ingresan al sistema. (E. PAUER, Ricardo).

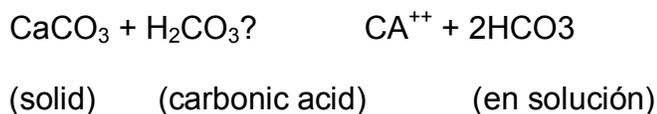
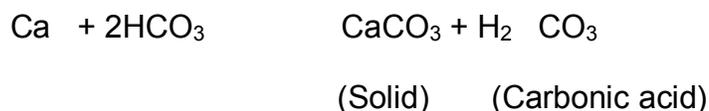
Si la caldera no se purga, es decir si no se extrae parte del agua donde los sólidos se han concentrado, estos continuarán aumentando su concentración hasta que se superen sus solubilidades y comiencen a "salir" de la solución. Estos sólidos en suspensión, dependiendo de su naturaleza, precipitan y se depositan sobre las superficies de calefacción calientes (tubos) sufriendo transformaciones químicas que los convierten en **incrustaciones**; o simplemente incrementan los sólidos en suspensión en el agua de la caldera. Este incremento, junto a una mayor tendencia a formar espumas, contribuye a aumentar el arrastre de agua por el vapor, lo que de alguna manera termina actuando como purga. (E. PAUER, Ricardo).

Según E. PAUER, Ricardo, el proceso de las incrustaciones puede explicarse resumidamente así:

.a.- El vapor de agua al entrar en contacto con el aire va a absorber el CO<sub>2</sub> (Gas), presente en la atmósfera, volviéndose agua acidulada.



b.- El agua acidulada disuelve el Carbonato-Cálcico a su alrededor favoreciendo la formación de iones de Calcio e Iones de Bicarbonato solubles.



Cualquier condición que altere la solubilidad del bicarbonato de calcio va a producir la precipitación del carbonato de calcio, creando así un potencial.

Los problemas creados por los sólidos en los sistemas de vapor son muchos, tales como problemas de corrosión, erosión y desbalanceo de las turbinas, pérdida de eficiencia, falla de los tubos de la caldera y de los sobrecalentadores, etc. (E. PAUER, Ricardo).

Mediante la purga se puede mantener bajo control la concentración de los sólidos en el interior de la caldera. Esta purga puede hacerse en forma continua o periódicamente, ya que las calderas poseen un "recipiente" o "tanque" inferior donde los sólidos sedimentables tienden a concentrarse. En estos casos, purgas intermitentes de corta duración dan a veces mejor resultado. (E. PAUER, Ricardo).

Las incrustaciones se deben fundamentalmente a las sales de Calcio y Magnesio que al calentarse se concentran y precipitan dando lugar a depósitos que forman una capa aislante que dificulta el intercambio de calor. Los efectos directamente ocasionados son (<http://www.rbbertomeu.es>):

- La reducción del coeficiente de transmisión de calor
- La reducción de la sección libre de paso de fluido
- La rotura de tubos por sobrecalentamiento, al ser el intercambio de calor menor
- Las incrustaciones o depósitos también pueden afectar a partes en movimiento, principalmente válvulas y álabes de turbina de vapor. En este caso, no sólo se producen incrustaciones por sales cálcicas y magnésicas, sino también por deposición de sílice y diversos compuestos de hierro. Esto provoca falta de estanqueidad en válvulas, degradación acelerada de álabes y desequilibrios en el rotor de la turbina de vapor.

## **I.6- SOLUCIONES.**

Básicamente los procedimientos existentes en la actualidad para tratar el agua dura y las incrustaciones calcáreas son (<http://www.rbbertomeu.es>):

### **a)- Preventivo:**

Mediante la utilización de resina que actúa por intercambio iónico con el calcio y el magnesio y otros minerales disueltos en el agua .y que requieren realizar una instalación invasiva en la tubería, un mantenimiento periódico por regeneración de la resina, con subproducción de desechos, que no pueden ser vertidos directamente al sistema cloacal por disposiciones legales vigentes. El agua así tratada favorece la corrosión de las tuberías, y no es aconsejable su uso como potable. Gastos recurrentes, que disminuyen el rendimiento presupuestario.

**b)- Curativo:** Eliminación de las incrustaciones calcáreas, mediante lavado de las tuberías con ácido; procedimiento altamente corrosivo, que implica la renovación frecuente de las tuberías e igualmente degradante para el medio ambiente. Gastos recurrentes, que disminuyen el rendimiento presupuestario.

Se pueden aplicar ciertos tratamientos para eliminar las incrustaciones, entre los que se encuentran los siguientes:

**TRATAMIENTO MECÁNICO (Eliminación mecánica de las incrustaciones)** Este consiste en un proceso intensivo y laborioso que implica necesariamente la paralización de las actividades productivas, desmontaje de las tuberías y equipos y los resultados son altamente costosos.

### **TRATAMIENTOS FÍSICOS**

**a.- Magnético.**-Campo magnético e incremento de la velocidad de las partículas

**b.- Electrolítico.**- electrólisis

**c.- Mecánico.**- Por resonancia ultrasónica

**d.- Combinación de campo complejo electromagnético ultrasónico**

Son tratamientos no agresivos con el medio ambiente y que no son invasivos, dependiendo del sistema adoptado, no implican la paralización de las instalaciones industriales, con muy bajo o ningún mantenimiento, una inversión inicial duradera y un mejor aprovechamiento del capital (Roger Frontado R.).

### **I.7- AFECTACIONES EN LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS.**

Es de sobra conocido que uno de los principales problemas que afectan al rendimiento energético y a la conservación de las calderas que operan con fuel-oíl o gas-oíl es la formación de costras de hollines e incrustaciones duras en los tubos de intercambio de calor, en el lado de contacto con los gases calientes procedentes de la combustión (Shields D. Carl, 1975).

Estas costras e incrustaciones, debidas a una combustión incompleta y a las impurezas que contiene el combustible, sobre todo cuando se trata de fuel-oil, producen una disminución de la velocidad de transferencia de calor entre ambos

lados de los tubos intercambiadores (lado gases y lado agua), tanto mayor cuanto mayor es el espesor de residuos acumulados (Shields D. Carl, 1975).

Al disminuir dicha transferencia de calor, los gases evacuados por chimenea salen más calientes y por tanto la energía suministrada a la caldera es menos aprovechada en generar vapor, es decir, disminuye el rendimiento energético de la caldera y aumenta el consumo de combustible por unidad de vapor producida (Shields D. Carl, 1975).

### **1.8- DRENADO DEL CONDENSADO (purgadores de condensado o trampas de vapor).**

Tan pronto como el vapor deja la caldera empieza a ceder parte de su energía a cualquier superficie de menor temperatura. Al hacer esto, parte del vapor se condensa convirtiéndose en agua, prácticamente a la misma temperatura. La combinación de agua y vapor hace que el flujo de calor sea menor ya que el coeficiente de transferencia de calor del agua es menor que el del vapor. (Monografias.com S.A. 2011).

De acá nos podemos dar cuenta de la importancia de las trampas de vapor para una empresa que utiliza algún equipo calentado con vapor. Las ventajas de utilizar trampas son muchas, nombrando unas de las más comunes la de economizar grandes cantidades del combustible requerido para calentar las inmensas cantidades de agua lo que conlleva a un ahorro en los costos no despreciable (Monografias.com S.A. 2011).

De acuerdo a Frontado R. Roger, 2010, una trampa para vapor es un dispositivo que permite eliminar: condensado, aire y otros gases no condensables, además de prevenir pérdidas de vapor por:

- Eliminación de condensado: El condensado debe pasar siempre, rápido y completamente a través de la trampa para vapor para obtener un mejor aprovechamiento de la energía térmica del vapor.

- Eliminación de aire y otros gases no condensables: El aire y los gases disminuyen el coeficiente de transferencia de calor. Además, se debe tener presente que el O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> causan corrosión.
- Prevención de pérdidas de vapor: No deben permitir el paso de vapor sino hasta que éste ceda la mayor parte de energía que contiene, también las pérdidas de vapor deben ser mínimas mientras la trampa libera vapor condensado, aire y gases incondensables. (Monografias.com S.A. 2011).

## II. MATERIALES Y METODOS

### II. 1- METODOLOGÍA EMPLEADA.

Para este estudio realizado en la UEB de Derivados “Argeo Martínez” de la Provincia de Guantánamo, se emplearon los siguientes métodos:

- **histórico-lógico** Para sintetizar los elementos aportados en el capítulo I de la tesis y realizar una corrección lógica de los datos históricos, se empleó el enfoque de los problemas analizados.
- **Análisis documental y bibliográfico:** Se revisaron documentos publicados tanto en soporte impreso como en soporte digital encontrados en Internet, normas cubanas vigentes en Cuba y otros países, así como manuales de operación y procedimientos; todo lo cual permitió recopilar información y dar cumplimiento a las tareas investigativas, dirigidas a crear un marco conceptual teórico y metodológico que permitió hacer el estudio desde posiciones determinadas.

También se utilizó el método de **análisis y síntesis** para determinar los elementos que constituyen el problema y sintetizar el mismo desde el punto de vista teórico – lógico y la posibilidad de ser implementadas propuestas de variantes tecnológicas para optimizar el balance energético durante el proceso de generación de vapor en la UEB de derivados.

- Para recoger la información se utilizó el método de la **observación directa y participante** para identificar las diferentes causas que afectan el balance energético durante el proceso de generación de vapor y proponer variantes tecnológicas para mejorar el balance energético en el proceso de generación de vapor.

También se emplearon **cálculos matemáticos** para la el análisis del balance energético de la caldera y la valoración económica de los resultados obtenidos, así como la tabulación de los datos y procesamiento de estos para el cálculo de las pérdidas de la caldera durante el proceso de generación de vapor.

### **III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **III.1.- CONTROL DE LA CALIDAD**

Se procedió dentro del diagnóstico programado para esta investigación, a analizar la Política de Calidad de la UEB de Derivados “Argeo Martínez”, corroborándose que esta Empresa tiene como principio brindar servicios que satisfagan las necesidades y expectativas de los clientes, cumpliendo las Regulaciones Nacionales e Internacionales vigentes. Para ello debe ser prioridad del Consejo de Dirección de la Empresa:

- Continuar el trabajo de formación y desarrollo de las personas, por su importancia en la mejora de la cultura de la Empresa.
- Mantener proveedores de calidad que aseguren la continuidad de los procesos tecnológicos.
- Desarrollar tecnologías para ofrecer servicios con calidad, de acuerdo a las tendencias del mercado.
- Garantizar la protección de la vida humana y trabajar por la preservación del medio ambiente.
- La estructura organizativa de la Empresa, las funciones de sus trabajadores, así como los objetivos trazados, deben responder al interés de garantizar la calidad de los servicios, aplicando la mejora continua a través del Sistema de Gestión de la Calidad.

La NC/ISO 9001/2000 “Norma de Procesos y Mejoras” que es la que certifica a la Empresa, establece una serie de conceptos de Calidad que ayudan, como su nombre lo indica, al mejoramiento de los procesos que ocurran en ella. Para llevar a cabo este estudio se tuvo en cuenta en todo momento que la UEB “Argeo Martínez” está basado el Sistema de Gestión de Calidad en Procedimientos e instrucciones que implica todo el trabajo a desarrollar en todas las áreas de la Empresa y en específico, en el Área de la Caldera.

### **III.2- CARACTERIZACIÓN DE LA UEB DE DERIVADOS “ARGEOMARTÍNEZ”**

La UEB de Derivados “Argeo Martínez” de la Provincia de Guantánamo tiene como objeto social la producción de alcoholes, sus derivados y derivados y levadura de Saccharomise a partir de las mieles de la caña de azúcar. Como equipos generadores de vapor posee dos calderas de 6.0 t/h de producción de vapor para satisfacer las demandas de los consumidores instalados en el proceso productivo.

Las características técnicas generales de la Caldera de la Destilería son las siguientes:

Modelo: PKM

Tipo: Pirotubular

Combustible: Fuel-Oil

Las características técnicas específicas de la Caldera, el Quemador, Turbina y Generador, aparecen en el Anexo 1.

Es importante señalar que el generador de vapor PKM es del tipo Pirotubular de tres pasos de gases de ubicación horizontal y está diseñado para la utilización de combustibles líquidos y gaseosos.

Está montado con todos sus accesorios sobre un chasis soporte, formando un conjunto compacto y listo para funcionar, después de su conexión, a las redes de vapor, alimentación de agua, circuito de combustible y tensión eléctrica.

Las características principales de este generador de vapor son las siguientes:

- Dimensionado óptimo del hogar de combustión para obtener bajos índices de contaminantes (óxidos de nitrógenos), cumpliendo todas las normativas europeas más estrictas.
- Óptimo trazado dimensional de los circuitos de gases, consiguiendo unas velocidades de circulación de humos equilibradas y por consiguiente, un rendimiento elevado.
- Cámaras de inversión de gases totalmente refrigerada por agua y exenta de material refractario, participando en el intercambio térmico.

- Cámara de vapor y plano de vaporización dimensionados correctamente para evitar los arrastres de agua.

Como parámetros técnicos fundamentales a tener en cuenta para el funcionamiento correcto de la caldera en esta Unidad están:

### **1. Calidad del agua.**

La alimentación, debe cumplir con los siguientes parámetros fisicoquímicos:

1. Dureza total	≤ 10 ppm
2. Oxígeno	≤ 30 ppm
3. Aceite	≤ 1ppm
4. pH	De 8.5 a 9.0

En el interior de la caldera:

1. Dureza total	0 – 6 ppm.
2. Alcalinidad total	1200 ppm
3. Alcalinidad parcial	80 % de AT
4. Cloruros	250 ppm.
5. Hidróxidos	200 ppm.
6. Sólidos disueltos	3000 – 3500 ppm
7. pH	De 10 a 11

### **2. Garantizar una correcta combustión**

Para garantizar una correcta combustión en la caldera, es necesario obtener un adecuado rendimiento del conjunto quemador-hogar y por lo tanto, se debe considerar en la entrada, el calor aportado por el fluido de trabajo y en la salida, la pérdida por radiación de paredes, por purgas, etc. La eficiencia de la combustión será máxima cuando las pérdidas sean mínimas, por lo que se debe procurar una combustión lo más perfecta posible. Para minimizar estas pérdidas se deben corregir las causas influyentes.

Exceso de aire: El mantenimiento de la correcta relación aire-combustible es el factor más importante en la eficiencia de la combustión, el exceso provoca las pérdidas por calor sensible en humo y reduce la temperatura de la llama. Para controlar este exceso de aire se mide el porcentaje de CO<sub>2</sub> o de O<sub>2</sub> de los humos, de forma que a mayor CO<sub>2</sub> menor exceso de aire y a mayor O<sub>2</sub> mayor exceso de aire.

Se debe lograr un precalentamiento a la salida del tanque del consumo diario. Este precalentamiento puede ser eléctrico o mediante vapor, con el objetivo inicial de disminuir la viscosidad del combustible para que el mismo pueda ser halado por la bomba del combustible, donde es sometido a otro calentamiento, que le permite alcanzar una temperatura óptima que debería estar en el rango de 70 °C a 80 °C y así, lograr un buen encendido de la caldera y con ello una adecuada combustión.

### **III. 3- DIAGNÓSTICO REALIZADO AL ÁREA DE GENERACIÓN DE VAPOR.**

El diagnóstico realizado al área de generación de vapor de la UEB "Argeo Martínez" para desarrollar este trabajo, arrojó como resultado lo siguiente:

- Existen salideros de vapor en varios tramos de tubería de vapor.
- También existen salideros de combustible (Fuel-Oil).
- La caldera posee más de 15 años de servicio o explotación.
- El depósito de agua de alimentación de la caldera carece de aislamiento térmico.
- Por la tapa del frente de la caldera hay salideros de los gases que van a la chimenea.
- Deficiencias en las juntas de las tapas delantera y trasera de la caldera.
- Los tubos de fuego presentan incrustaciones por las partes interior y exterior.
- La bomba del quemador encargada del bombeo de fuel-oil hacia el interior del hogar, ha presentado problemas.
- Existe problema con el control Mobrey, que es el encargado de darle la señal al programador eléctrico y este a la bomba.
- El área no presenta recuperación de condensado.

- Los tubos de fuego de la caldera no presentan en su totalidad, los retenedores de gases. De las trampas de vapor existentes, sólo trabaja una.
- Existe un tramo de 6 m de tubería de vapor que va desde la caldera hacia el depósito de agua de alimentación, que está sin aislamiento térmico, por lo cual imposibilita que la temperatura del agua alcance el rango establecido de 70 °C a 80 °C.
- Existe un tramo de 4 m de línea de vapor que sale de la caldera hacia los calentadores, que están en el sistema de bombeo de combustible hacia la caldera, que está desprovisto de aislamiento térmico.

#### **III.4- EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA ACTUAL DURANTE EL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR.**

Se procedió a realizar una evaluación de la eficiencia energética actual durante el proceso de generación de vapor de la caldera La UEB de Derivados “Argeo Martínez” y para ello, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos durante el proceso de generación de vapor:

1. Calidad del agua a alimentar la caldera.
2. Salideros de combustible en el área de generación de vapor.
3. Metros lineales de redes de vapor sin aislar.
4. Por ciento de aire que entra a la caldera

Para tener en cuenta los puntos anteriormente expuestos, ha de conocerse:

##### **La Pérdida por inadecuada calidad del agua de alimentación.**

Las características fisicoquímicas del agua de alimentación tienen gran importancia no sólo desde el punto de vista energético, sino también que ejercen gran influencia en la vida útil del generador de vapor y en su eficiencia térmica debido a la formación de incrustaciones, las cuales dificultan el proceso de transferencia de calor, estas incrustaciones provocan una disminución en la capacidad de producción de vapor de la caldera, aumentos locales de temperatura en los tubos fluser, provocando la rotura de los mismos por sobrecalentamiento, trayendo consigo a su vez un aumento de

consumo de combustible. Por otra parte, esto provoca que pueda aparecer un exceso de oxígeno en el medio lo que daría lugar a la corrosión localizada.

Se debe tener en cuenta en la calidad del agua de alimentación, el contenido de cloruros de esta agua, ya que es la causante principal del proceso de corrosión en el interior de la caldera, es por ello que se debe determinar a escala de laboratorio el contenido de cloruro una vez reactivada la resina de intercambio iónico.

El número de purgas o extracciones de fondo a realizar en el generador de vapor lo orienta el laboratorio y va en correspondencia con el valor de los sólidos totales disueltos, se debe tener en cuenta que un aumento del número de extracciones de fondo es proporcional al consumo de combustible.

#### **III.4.1- DATOS SOBRE LA SALA DE CALDERA:**

- Caldera Pirotubular PKM de 6000 kg/h
- Tipo de combustible: Fuel-Oil
- Horas de trabajo diarias: 24 h
- Turnos de trabajo: 3
- Tubo de fuego de 50 mm x 4850 mm
- Vapor que produce: saturado
- Presión máxima de trabajo: 8.5 kgf/cm<sup>2</sup>
- Temperatura del vapor saturado: 170 °C
- Diámetro de la tubería: **d** = 2''
- Eficiencia nominal: **N** = 85 %
- Quemador instalado OERLI: IB 7.2 de **Cc** = 530 kg de comb/h
- Temperatura de los gases de escape: 225 ° C
- Días trabajados al año: 215
- Caudal de combustible: (de 30 kg/h a 1000 kg/h).

- Cantidad de tubería sin aislar: 27 m
- Tanque de alimentar la caldera: Sin aislar
- Volumen del tanque:  $V = 15.26 \text{ m}^3$
- Bomba de agua vertical: Drunfus CR-12
- Temperatura del agua a alimentar:  $60 \text{ }^\circ\text{C}$
- Salidero apreciable de vapor en orificio de la tubería ( $d=3\text{mm}$ )
- Forro metálico de la caldera: En buen estado

### III.5- CÁLCULOS DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR

#### PÉRDIDAS DE CALOR POR CONDICIONES ADVERSAS.

➤ **Determinación del número de extracciones (Ex) a realizar:**

$$\text{Ex} = \text{SDT (calculado)} \times \text{Ext. Turno Anterior} / \text{Sólidos disueltos permisibles} \quad (1)$$

$$\text{Sólidos disueltos calculados} = 1.4 (\text{AT} + \text{CL})$$

Donde:

**AT**----- Alcalinidad total (Se expresa en ppm)

**CL** -----Cloruros (Se expresa en ppm)

Como ya se dijo anteriormente, el número de purgas o extracciones de fondo a realizar en el generador de vapor lo orienta el laboratorio y va en correspondencia con el valor de los sólidos totales disueltos

➤ **Cálculo de las pérdidas de calor por las purgas o extracciones (P<sub>p</sub>).**

La cantidad de purgas a realizar a este tipo de caldera está en correspondencia con los análisis de laboratorio, teniendo en cuenta la calidad del agua en el interior de la caldera. Diariamente se realizan tres extracciones por turno de trabajo.

$$\text{Pp} = \text{P} \times \text{Ha} / \text{P}_{\text{Ci}} \times \text{Cc} \quad (\text{Expresado en \% / poder calórico}) \quad (2)$$

Donde:

**Pp**.....Pérdida de calor por la purga.

**Cc** = 530 kg/h ..... Consumo de combustible

**Ha** = 2776 kJ/kg ó 662.53 kcal/kg..... Entalpía específica del agua de la caldera a la temperatura de saturación, correspondiente a la presión de trabajo del equipo.

**P<sub>CI</sub>** = 2315.03 kJ/kg ó 9700 Kcal/kg ..... Poder calórico inferior del combustible

**P**..... Caudal de purgas. (m<sup>3</sup>/h)

Siendo:

$$P = A \times CL / At \times CL \quad (3)$$

**At** = 1920..... Alcalinidad total de la caldera (ppm)

**CL**= 350..... Salinidad total del agua de alimentación (ppm)

**A**.....Caudal de agua de aportación (m<sup>3</sup>/h)

Sustituyendo valores en (3):

$$P = 1500 \times 350 / 1920 \times 350$$

$$P = 52500 / 67200$$

$$P = 0.78$$

Luego sustituyendo en (2):

$$Pp = 0.78 \times 662.53 \text{ kcal/kg} / 9700 \text{ Kcal/kg} \times 530 \text{ kg/h}$$

$$Pp = 516.773 / 5141000$$

$Pp = 0.00010 \text{ kg/h} \leftrightarrow 0.97 \text{ kcal/h}$
---

➤ **Cálculo de las pérdidas por trampa de vapor defectuosa (Cgt).**

Se encuentran instaladas en la Unidad 6 trampas de diámetro 2", de las cuales están defectuosas 4.

Según criterio técnico, una trampa trabajando defectuosa puede provocar una pérdida de vapor o caudal de fluido de vapor (**G**), que oscila en un rango de 15 kg/h a 25 kg/h. Para este trabajo se asumió un valor de **G**=20 kg/h.

Para determinar el **combustible gastado** ( $C_{gt}$ ) en una trampa defectuosa, durante un año, se tuvo en cuenta que:

$$C_{gt} = G_a \times H_v / P_{ci} \times N \quad (4)$$

Donde:

$C_{gt}$ ..... Combustible gastado en una trampa defectuosa (kg/h)

$G = 20$  kg/h ..... Caudal de fluido o flujo de vapor que sale por el orificio o salidero

$H_v = 2776$  kJ/kg (ó 666.24 kcal/kg).... Entalpia del vapor en correspondencia con la presión de trabajo

$P_{ci} = 9700$  kcal/kg .....Poder calórico inferior del combustible

$N$ ..... Eficiencia, que en este caso es 85 %.

Además, se deben conocer los siguientes datos:

- Número de trampas instaladas = 6
- Número de trampas en mal estado = 4
- Cantidad de días que trabaja la caldera al año: **Tda** (Que en este estudio fueron **215 días**).

Entonces sustituyendo en (4):

$$C_{gt} = 15.27 \text{ t} \times 666.24 \text{ kcal/kg} / 9700 \text{ kcal/kg} \times 0.85 \%$$

$$C_{gt} = 10173.4848/8245$$

$C_{gt} = 1.23 \text{ t/año}$
-------------------------------

Siendo este el combustible que se gasta por una trampa defectuosa durante un año.

Además, se calculó el flujo de vapor que se pierde por una trampa defectuosa durante los 215 días trabajados al año y para ello, se estableció la siguiente relación:

1 día -----24 h

215 días ----- X h

De modo que:

$$X=24 \times 215 = 5160 \text{ h al año.}$$

Que es la cantidad de horas al año que trabajó la trampa. Luego, asumiendo como se planteó anteriormente, que una trampa trabajando defectuosa puede provocar una pérdida de 20 kg/h de combustible, entonces para un año se tiene:

$$V_p = 5160 \text{ h} \times 20 \text{ kg/h}$$

$$V_p = 103\,200 \text{ kg / año.}$$

$$V_p = 103,2 \text{ t /año}$$

Que si buscamos su equivalente en energía consumida, se tiene que emplear el concepto de poder calórico, esto es "la cantidad de energía (en kcal) que desprende el combustible por unidad de masa (kg) quemado". Entonces:

$$P_{Ci} = Q/m$$

$$Q_{tram} = P_{Ci} \times m = 1230 \text{ kg} / 5160 \text{ h} = 0.24 \text{ kg/h} \times 9700 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{tram} = 2328 \text{ kcal/h}$$

➤ **Pérdida por concepto de no recuperación de condensado.**

Se estima, según datos técnicos actualizados que cuando se pierde un 50 % de recuperación de condensado, el consumo de combustible sufre un incremento de 7.5 %; ya que el mejor tratamiento de agua que existe es la recuperación de condensado por la calidad fisicoquímica del mismo y su libre contaminación. Energéticamente tiene una influencia positiva en el consumo de combustible de la caldera, ya que esta se alimenta con un agua a una temperatura superior a 70 °C.

➤ **Pérdida de calor en tubería sin aislar ( $Q_{tsa}$ )**

Este tipo de pérdida se determinó por la siguiente ecuación:

$$Q_{tsa} = F \times a (T_w - T_a) \quad (5)$$

$Q_{tsa}$ ..... Pérdida de calor en tubería sin aislar (kcal/h)

F ..... Superficie de la tubería ( $m^2$ )

a ..... Coeficiente de transmisión de calor de la pared a la tubería ( $kcal/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

**Tw**.....Temperatura de la pared exterior (que para el caso estudiado es 170 °C)

**Ta**..... Temperatura ambiente (que para el caso estudiado es 32 °C)

El coeficiente de trasmisión de calor (**a**) se halla de la siguiente forma:

$$\mathbf{a = 8.21 + 0.00733 \times Tw \times \sqrt[3]{Tw} \quad (6)}$$

La superficie de la tubería (F) se halla mediante la siguiente fórmula:

$$\mathbf{F = \pi d \times L \quad (7)}$$

Donde:

**d**= 2' = 50 mm = 0.05 m.....diámetro de la tubería.

**L** = 30 m.....longitud de la tubería.

Sustituyendo en (7):

$$\mathbf{F = 3.14 \times 0.05 \text{ m} \times 32 \text{ m}}$$

$$\mathbf{F = 5.024 \text{ m}^2}$$

Hallando el valor de **a**, según (6):

$$\mathbf{a = 8.21 + 0.00733 \times 170 \times \sqrt[3]{170}}$$

$$\mathbf{a = 8.21 + 0.00733 \times 170 \times 5.54}$$

$$\mathbf{a = 8.21 + 0.00733 \times 941.74}$$

$$\mathbf{a = 8.21 + 6.90}$$

$$\mathbf{a = 15.11 \text{ kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Luego, según (5):

$$\mathbf{Q_{tsa} = 5.024 \text{ m}^2 \times 15.11 (170 \text{ } ^\circ\text{C} - 32 \text{ } ^\circ\text{C})}$$

$$\mathbf{Q_{tsa} = 75.91 \text{ kcal m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} (138 \text{ } ^\circ\text{C})}$$

$\mathbf{Q_{tsa} = 10475.58 \text{ kcal/h}}$
--

➤ **Pérdida de combustible en la caldera con el tanque sin aislamiento (Cgt).**

Luego, considerando que el tanque de la caldera tiene forma cilíndrica igual que la tubería, se procedió a calcular el combustible gastado en la Caldera con el tanque sin

aislar (**Cgt**), pero para ello se calculó primero el flujo de calor (**Q<sub>Tka</sub>**) que se pierde empleando la ecuación (5):

$$Q_{Tka} = F^* \times a^* (T_w - T_a) \quad (5')$$

Donde aquí **a\*** es el coeficiente de transmisión de calor de la pared del tanque (kcal/m<sup>2</sup> °C):

$$a^* = 9.74 + 0.07 (T_w - T_a) \quad (8)$$

Se tuvo en cuenta que **T<sub>w</sub>** es la temperatura interna de la caldera igual a 60 °C, ya que se desprecia la resistividad de la pared puesto que el tanque está sin aislar. Luego, considerando que la temperatura ambiente sea de 32 °C, entonces, según (8):

$$a^* = 9.74 + 0.07 \times 28$$

$$a^* = 19.0904 \text{ kcal/hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por otro lado, la superficie del tanque viene dada por:

$$F^* = \pi DL + \pi D^2/2 \quad (9)$$

$$F^* = 3.14 \times 1.8 \text{ m} \times 6\text{m} + 3.14 (1.8)^2/2 = 33.912 + 10.1736 / 2$$

$$F^* = 33.912 \text{ m}^2 + 5.0868 \text{ m}^2$$

$$F^* = 38.9988 \text{ m}^2$$

Sustituyendo en (5') y calculando:

$$Q_{Tka} = 38.9988 \text{ m}^2 \times 19.0904 \text{ kcal/hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} (60 \text{ } ^\circ\text{C} - 32 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q_{Tka} = 744.50269152 \times 28 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{Tka} = 20\,846,07536256 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{Tka} \approx 20\,846,08 \text{ kcal/h}$$

Dividiendo este valor entre el poder calórico inferior **P<sub>ci</sub>** del combustible, se determinó la cantidad de combustible que se pierde en la caldera con el tanque sin aislamiento esto es:

$$Cgt = 2719.05 \text{ kcal/h} / 9700 \text{ kcal/kg}$$

$$Cgt \approx 2.2 \text{ kg/h}$$

O también:

$$C_{gt} \approx 0.0022 \text{ t/h} = 11.352 \text{ t/año}$$

### **PÉRDIDAS DE CALOR CON CONDICIONES CORREGIDAS.**

➤ **Corrección de las pérdidas de calor por tramos de tubería que no tienen aislamiento y orificios.**

Para corregir las pérdidas que se producen en las tuberías sin aislamiento, se consideró que estas se cubrieron con material térmicamente aislante (duela de vidrio acorde con el diámetro de la tubería) y recubierta a su vez con rolos de aluminio al brillo, de modo que en tal caso se asumió que no hay transferencia de calor al exterior por radiación y por tanto, se considera nula la fuga de calor esto es:

$$Q_{\text{con aisl}} = 0 \quad (10)$$

Siendo  $Q_{\text{con aisl}}$ , las pérdidas de calor de las tuberías con aislamiento.

Del mismo modo si se considera que los orificios se eliminaron, podemos decir que las pérdidas de calor por este concepto serían cero:

$$Q_{\text{orif corr}} = 0 \quad (11)$$

➤ **Corrección de las pérdidas por trampa de vapor defectuosa (Cgt).**

En este caso también se consideró que se corrigieron las trampas defectuosas, sustituyendo las mismas, por lo que la pérdida de la energía del vapor por trampas defectuosas ( $Q_{\text{tram def}}$ ) se considera nula:

$$Q_{\text{tram def}} = 0 \quad (12)$$

➤ **Cálculo del combustible gastado en la caldera con el tanque con aislamiento ( $C_{T \text{ aisl}}$ ).**

Con el objetivo de disminuir la pérdida de combustible por estar el tanque sin aislar, se supone ahora que lo hemos aislado, fijándose la temperatura de la pared  $T_w = 40$  °C. Para garantizar estas condiciones de trabajo fue necesario calcular el espesor del aislamiento  $\Upsilon$  y antes, el flujo térmico específico  $q$  mediante la siguiente expresión:

$$q = a^{**} (T_w - T_a) \quad (13)$$

Siendo  $a^{**}$  el coeficiente superficial de transmisión de calor por radiación y convección de la pared del tanque en condiciones de aislamiento, que se expresa en  $\text{kcal}/\text{hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Pero según (9):

$$a^{**} = 9.74 + 0.07 (T_w - T_a) \quad (14)$$

$$a^{**} = 10.3 \text{ kcal}/\text{hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} = 0.012 \text{ kcal}/\text{sm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} = 12.12 \text{ W}$$

Y adoptando que toda la resistencia térmica está concentrada en la masa de aislamiento, el flujo térmico específico ( $q$ ) se expresa por:

$$q = \lambda \Delta T / \Upsilon \quad (15)$$

Donde:

$\Delta T = (T_w - T_a)$ , es la variación de la temperatura, que en estas condiciones es  $40 \text{ } ^\circ\text{C} - 32 \text{ } ^\circ\text{C} = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\lambda = 0.151 \text{ W}/\text{m } ^\circ\text{C}$ , es el coeficiente de conductividad térmica del aislamiento.

$\Upsilon$  es el espesor del aislamiento (mm)

Según (13):

$$q = 10.3 \text{ kcal}/\text{hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 8 \text{ } ^\circ\text{C} = 82.4 \text{ kcal}/\text{hm}^2$$

Despejando  $\Upsilon$  de (15):

$$\Upsilon = \lambda \Delta T / q \quad (16)$$

Según (16) y teniendo en cuenta que  $0.151 \text{ W}/\text{m } ^\circ\text{C}$ )

$$\Upsilon = 0.151 \text{ W}/\text{m } ^\circ\text{C} \times 8 \text{ } ^\circ\text{C} / 82.4 \text{ kcal}/\text{hm}^2$$

$$\Upsilon = 0.13 \text{ kcal}/\text{hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 8 \text{ } ^\circ\text{C} / 82.4 \text{ kcal}/\text{hm}^2$$

$$\Upsilon = 0.013 \text{ m} = 13 \text{ mm}$$

Entonces, la cantidad de calor ( $Q_{T \text{ aisl}}$ ) que desprende el tanque aislado se calculó por:

$$Q_{T \text{ aisl}} = q \times F \quad (17)$$

$$Q_{T \text{ aisl}} = 82.4 \text{ kcal/hm}^2 \times 38.9988 \text{ m}^2$$

$$Q_{T \text{ aisl}} = 3213.5 \text{ kcal/h}$$

Luego, se procedió a calcular el combustible gastado en la Caldera con el tanque con aislamiento ( $C_{T \text{ aisl}}$ ), dividiendo este valor entre el poder calórico:

Entonces, si:

$Q_T \rightarrow$  Flujo Total de Pérdidas

$Q_{\text{adv}} \rightarrow \Sigma$  Pérdidas en condiciones adversas

$Q_{\text{correg}} \rightarrow \Sigma$  Pérdidas en condiciones corregidas

Se tiene que:

El Flujo Total de Pérdidas en el área de la caldera de la UEB viene dado por:

$$Q = Q_{\text{adv}} - Q_{\text{correg}} \quad (18)$$

Siendo:

$$Q_{\text{adv}} = Q_p + Q_{\text{tram}} + Q_{\text{tsa}} + Q_{\text{tsa}} \quad (19)$$

$$Q_{\text{adv}} = 0.97 \text{ kcal/h} + 2328 \text{ kcal/h} + 10475.58 \text{ kcal/h} + 20846.08 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{\text{adv}} = 33650.63 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{\text{correg}} = Q_{T \text{ aisl}} + Q_{\text{tram corr}} + Q_{\text{con aisl}} + Q_{\text{orif corr}}$$

$$Q_{\text{correg}} = 0 + 0 + 3213.5 \text{ kcal/h} + 0$$

$$Q_{\text{correg}} = 3213.5 \text{ kcal/h}$$

$$Q_T = Q_{\text{adv}} - Q_{\text{correg}} \quad (20)$$

$$Q_T = 33650.63 \text{ kcal/h} - 3213.5 \text{ kcal/h}$$

$$Q_T = 30435.13 \text{ kcal/h}$$

Esto traducido en pérdida, significa la cantidad de energía que se pierde en la caldera por cada hora de trabajo.

Para saber qué cantidad en combustible significa cada condición se establece las siguientes relaciones:

$$C_{c.adv} = 33650.63 \text{ kcal/h} / 9700 \text{ kcal/kg}$$

$$C_{c.adv} = 3.47 \text{ kg/h} = 3470 \text{ t/h}$$

Lo que significa la cantidad de combustible que se pierde por hora en condiciones adversas.

$$C_{c.corr} = 3213.5 \text{ kcal/h} / 9700 \text{ kcal/kg}$$

$$C_{c.corr} = 0.33 \text{ kg/h} = 330 \text{ t/h}$$

Lo que significa la cantidad de combustible que se pierde por hora en condiciones corregidas.

### III.6- VALORACIÓN ECONÓMICA

Hay que tener en cuenta que en el mercado mundial el precio de una tonelada (t) de del combustible (Fuel-Oil) ha experimentado oscilaciones considerables en los últimos años, pero asumiendo que se tome un valor promedio de \$ 450.27 (USD) se pueden determinar que las pérdidas económicas para la Empresa son significativas. Esto es:

- **Por perdidas de vapor por condiciones adversas se pierden en cada hora:**

$$\text{Pérdidas por } C_{c.adv} = 3470 \text{ t/h} \times 450 \text{ \$/t}$$

$$\text{Pérdidas por } C_{c.adv} = 1\ 561\ 500 \text{ \$ (USD)}$$

- **Por perdida con condiciones corregidas:**

$$\text{Pérdidas por } C_{corr} = 330 \text{ t/h} \times \$ 450$$

$$\text{Pérdidas por } C_{corr} = 148\ 500 \text{ \$ (USD)}$$

Luego:

$$\text{Pérdidas por } C_{c.adv} - \text{Pérdidas por } C_{corr} = \$ 1\ 561\ 500 - \$ 148\ 500 = \$ 1\ 413\ 000$$

Que es la cantidad de dinero que se ahorraría en la Empresa de Derivados "Argeo Martínez, si se corrigieran las condiciones adversas que provocan las pérdidas de combustibles analizadas en este trabajo.

### **III.7- Mejoras tecnológicas para la optimización del proceso de generación de vapor.**

Después de haber obtenido los resultados anteriormente expuestos, con el fin de lograr una mayor optimización del proceso de generación de vapor en la caldera La UEB de Derivados "Argeo Martínez" se proponen las siguientes variantes tecnológicas:

1. Recuperación del condensado como mínimo a un 80 %.
2. Aislamiento térmico de la parte exterior del tanque de alimentación de la caldera.
3. Aislar térmicamente los 6 m de tubería de vapor que van desde la caldera hasta el depósito de agua de alimentación que debe calentar el agua a una temperatura en el rango de 70 °C – 80 °C.
4. Aislar térmicamente los 4 m de tubería de vapor que van hacia el calentador de petróleo.
5. Completar el 100 % los retenedores de gases de los tubos Flúser.
6. Poner a trabajar las trampas de vapor que están sin funcionar.
7. Eliminar todos los salideros de vapor.
8. Eliminar todos los salideros de combustible (Fuel-Oil).

## **CONCLUSIONES**

El diagnóstico realizado en el Área de la Caldera UEB Derivados “Argeo Martínez” para llevar a cabo este trabajo, corrobora de cierta forma el problema de hipótesis planteado con lo cual se justifica el estudio realizado. Por lo que se aplicaron los métodos descritos con el propósito de señalar todas las posibles causas deficiencias técnicas en el proceso de generación de vapor en la UEB de Derivados “Argeo Martínez” y que afectan el rendimiento energético de la caldera.

Mediante determinadas fórmulas establecidas por las normas internacionales, se pudo realizar una evaluación de la eficiencia energética actual de la caldera de esa unidad, durante el proceso de generación de vapor.

Con la propuesta de las mejoras tecnológicas expuestas en el desarrollo del trabajo, el autor considera que puede lograrse una elevación de la eficiencia energética real de la caldera y de este modo, optimizar el proceso de generación de vapor.

Haciendo una recopilación de todo lo expuesto en este estudio, se puede resaltar el cumplimiento de los objetivos perseguidos por el autor, teniendo en cuenta que todos estos análisis revelaron una evidencia de los problemas que influyen en sentido general en este proceso; directamente relacionado con el problema planteado.

## **RECOMENDACIONES**

Acorde al problema planteado en este trabajo se pudo proponer para las causas que originan el mismo las siguientes recomendaciones, con el objetivo dar posibles soluciones a esta problemática:

1. Presentar los resultados de este estudio a la Dirección de la UEB Derivados “Argeo Martínez” para que se tomen las medidas pertinentes para reducir a cero las deficiencias detectadas en el diagnóstico efectuado al Área de la Caldera de dicha Unidad.
2. Aplicar el conjunto de mejoras técnicas propuesto por el autor para lograr elevar la eficiencia de la caldera.
3. Generalizar este estudio a otras unidades de este tipo en el país con dificultades similares a las aquí expuestas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Caldera (máquina).Wikipedia®. 2013.
2. César Sánchez Eugenio. Control difuso de nivel y presión de vapor en el domo de un generador de vapor “reto GV-45- 18”. (Tesis presentada en opción al título de máster en ciencias en informática y automatización). La Habana 2011.
3. E. PAUER, Ricardo. “Seminario sobre intercambio iónico, Agua y Energía”, Rosario, Septiembre 1990
4. Frontado R. Roger. División Scalewatcher™. 2010.
5. Hugot, E. “Manual para ingenieros azucareros”. Edición Continental. México. 1974.
6. <http://www.buenastareas.com/ensayos/Tipos-De-Calderas/3022553.html>
7. <http://www.quemadoresindustrialesriello.com/calderas-vaporizacion.html>
8. <http://www.ingecap.com/pdf/CALDERAS.pdf>
9. <http://www.buenastareas.com>.2012
10. <http://www.news.soliclimate.com>. 2012.
11. <http://www.rbbertomeu.es>
12. <http://www.ecured.cu/index.php/> “Calderas de vapor” (Abril/ 2013).
13. Shields D. Carl. Calderas Tipos, características y sus funciones. Ed: Revolucionaria.1975.
14. Thomasset, Carlos W. *Pequeño Manual del Foguista*. 2011.
- 15.15. K. F. Pavlov, Problemas y ejemplos para curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química. Editorial MIR. Moscú. 1981.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Angel Miguel. Conceptos básicos de agua de aporte a calderas. (on line). [www.ffabiano@inea.com.ar](http://www.ffabiano@inea.com.ar)
2. GOODING GARAVITO, Nestor. Operaciones Unitarias II: Manual de Prácticas 1 ed. Santafé de Bogotá; Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. 1998. Pág. 109-137.
3. INEL. Empresa de Ingeniería y Proyectos de la Electricidad. Trabajo puesta en marcha de los Suavizadores en la Sala de Calderas. Supertanqueros. Matanzas.
4. MC.CABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOTT, Peter. Operaciones unitarias en ingeniería química. Mc Graw Hill, 1991, cuarta edición. Sección 3.
5. NC 19-03. 1984. Tuberías para Vapor y Agua Caliente. Técnicas de Seguridad.
6. NC 19-03-20. 1984. Calderas. Requisitos para la explotación y el mantenimiento. Sistema de Normas de Protección e Higiene del Trabajo.
7. NC 19-02-28. 1984. Calderas de Vapor y Agua caliente. Requisitos generales de seguridad.
8. PERRY, Robert; GREEN ,Don y MALONEY, James. Perry: Manual del Ingeniero Químico.6ed. México: Mc Graw Hill,1998. Vol III, Pág. 9-72 a 9-83. ISBN 468-422-973-9
9. SHIELD, Carl. Calderas: Tipos, Características y sus funciones. 1ed. México: Continental, 198. Pág. 20-72
10. Tanis James N. Tratamiento no convencional para aguas de calderas. AQUATEC.
11. Trujillo Daniel. Tratamiento Disperso – Solubilizante para el control del Régimen químico de Calderas de baja y media presión (TDS). AQUATEC Argentina.
12. VAPENSA. Vapor y Enfriamiento S.A. Catálogo de Productos y Servicios. Tratamiento de Aguas Industriales. Costa Rica.
13. VAPENSA. Vapor y Enfriamiento S.A. Manual de Tratamiento de Agua de Calderas. Código DIGV-01. Versión 1. Alajuela. Costa Rica.
14. [www.econometrica.com.ar](http://www.econometrica.com.ar)